Образовательная библіотека

Серія V, №№ 9 и 10.

М 76
641
сер 5 №9-10

Л. ГРЕЦЪ

профессоръ Мюнхенскаго университета

М 76
641

КРАТКІЙ КУРСЪ
ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Переводъ съ нѣмецкаго
В. М. ФИЛИППОВА

Съ 161 рис.

Издательство
О. Н. Поповой

С.-Петербургъ
Невскій 54

e
10980

Образовательная библіотека
Серія V, №№ 9 и 10.

Проверено в 1927 г.
К.Ф.

Л. ГРЕЦЪ
Профессоръ Мюнхенскаго университета

КРАТКІЙ КУРСЪ
ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Переводъ съ нѣмецкаго
В. М. ФИЛИППОВА

Съ 161 рис.

Издательство
О. Н. Поповой

С.-Петербургъ
Невскій 54

Дозволено Цензурою. Спб., 1 Мая 1904 г.

Государственная
ордена Ленина
БИБЛИОТЕКА СССР
им. В. И. ЛЕНИНА
45450-46

Тип. Исидора Гольдберга, Спб., Екатеринин. кан., 94.

ПРЕДИСЛОВІЕ

Предлагая въ настоящей книгѣ краткій перечень главнѣйшихъ нашихъ познаній и воззрѣній въ области электричества и ихъ важнѣйшихъ примѣненій, я руководствуюсь неоднократно, въ теченіе послѣднихъ лѣтъ, высказывавшимися съ разныхъ сторонъ желаніями этого. Мое большое сочиненіе по этому предмету *, вышедшее недавно десятымъ изданіемъ, разрослось весьма значительно, соотвѣтственно росту нашихъ познаній въ области электричества. Кругъ читателей этой книги, выходившей въ нѣсколькихъ повторныхъ изданіяхъ, требовалъ отъ нея слишкомъ многаго, и потому ея объемъ съ теченіемъ времени почти что удвоился. Для иныхъ же читателей книга эта слишкомъ велика: не всякій умѣетъ отличить важное отъ менѣе важнаго. Поэтому я и взялъ на себя трудъ такого дѣленія.

Но предлагаемая книга не представляетъ собою простого сокращенія большого изданія. Она отличается отъ него не только объемомъ, но также и расположеніемъ главъ, и цѣлями. Во первыхъ, я отказался отъ первоначальнаго плана, согласно которому я, исходя изъ электростатическихъ явленій притяженія и отталкиванія, постепенно переходилъ къ электрическимъ токамъ. Напротивъ того, слѣдуя новѣйшимъ воззрѣніямъ, я прежде всего ввелъ понятіе объ электрическихъ токахъ. Надѣюсь, что развитіе понятій изъ этой исходной точки будетъ также ясно, какъ и по прежнему плану. По-

* Д-ръ Л. Грецъ. „Электричество и его примѣненія". Имѣется на русскомъ языкѣ въ переводѣ А. Л. Гершуна и В. К. Лебединскаго, вышедшемъ недавно вторымъ изданіемъ, свѣреннымъ съ 10-мъ нѣмецкимъ изданіемъ В. Ѳ. Миткевичемъ.

пятіе объ электрическомъ зарядѣ, стоявшее раньше на первомъ мѣстѣ, здѣсь вводится нѣсколько позже. Во вторыхъ, я попробовалъ все время трактовать электрическія явленія, какъ явленія движенія или состоянія эфира. Хотя, какъ извѣстно, у насъ и нѣтъ еще вполнѣ удовлетворительной теоріи эфира, но все же главныя явленія можно болѣе или менѣе наглядно объяснить тѣмъ, что происходитъ въ эфирѣ; нѣкоторыя же явленія, какъ, напр., электрическія колебанія, лишь съ трудомъ объяснимыя иначе, при нашемъ толкованіи становятся легко понятными. Въ дальнѣйшія гипотезы я не пускался. Въ третьихъ, въ этой книгѣ теоретическая часть не отдѣлена отъ части практической, какъ въ большомъ изданіи. Напротивъ того, тотчасъ же вслѣдъ за изложеніемъ закономѣрности тѣхъ или иныхъ фактовъ, дается и описаніе примѣненій, которыя могутъ имѣть эти факты. Сдѣлано это для большей краткости и наглядности, пріобрѣтаемой благодаря этому фактами. Описаніе электротехническихъ изобрѣтеній должно было, конечно, ограничиться лишь самымъ существеннымъ и распространеннымъ. Опытъ учитъ насъ, что подробности уясняются гораздо легче, разъ стало достаточно понятнымъ самое главное, самое основное.

Третье изданіе во всѣхъ своихъ частяхъ вполнѣ соотвѣтствуетъ новѣйшимъ воззрѣніямъ науки и техники.

Надѣюсь, что настоящая книга, въ которой, несмотря на краткость изложенія, я все время придерживаюсь строгихъ понятій и выводовъ, послужитъ, какъ и большое изданіе, къ распространенію знаній о всеобъемлющихъ и загадочныхъ силахъ природы.

Грецъ

Мюнхенъ, апрѣль 1903 г.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Возникновеніе и распознаваніе электрическихъ токовъ

Содержаніе: Въ природѣ мы встрѣчаемъ лишь немного электрическихъ явленій, такъ какъ для нихъ у насъ нѣтъ спеціальнаго органа чувствъ.—Случайное наблюденіе Гальвани.—Вольта сводитъ опытъ Гальвани къ болѣе простымъ явленіямъ.—Случайное открытіе Эрштедтомъ отклоненія магнитной стрѣлки.—Гальваноскопъ.—Обозначенія и опредѣленія.—Гальваническіе элементы.—Дальнѣйшіе методы полученія электрическихъ токовъ.—Термоэлектрическіе токи.—Индукціонные токи.—Магнитно-электрическая индукція. — Разница между постоянными и перемѣнными токами.

Удивительное противорѣчіе кроется въ слѣдующихъ двухъ фактахъ: съ одной стороны мы видимъ, что въ настоящее время электричество играетъ большую, положительно преобладающую роль во всякаго рода сношеніяхъ людей другъ съ другомъ, во всѣхъ почти условіяхъ человѣческаго труда и комфорта; съ другой же, даже при самомъ внимательномъ наблюденіи природы мы почти никогда не замѣчаемъ въ ней электрическихъ явленій. Во всей природѣ мы, повидимому, никогда не встрѣчаемъ слѣдовъ электричества, если не говорить о непосредственномъ, въ видѣ молніи, разрядѣ грозовыхъ тучъ или о томъ рѣдкомъ явленіи огней св. Эльма, на которое мы случайно можемъ наткнуться. Говоритъ ли это противорѣчіе о томъ, что въ природѣ вообще не происходитъ электрическихъ процессовъ, и что электричество есть, въ сущности говоря, продуктъ нашихъ искусственныхъ знаній, или же оно указываетъ на то, что мы вообще не распознаемъ электрическихъ явленій, существующихъ однако въ природѣ?

Въ лицѣ нашихъ чувствъ сама природа дала намъ весьма простыя вспомогательныя средства для распознаванія всѣхъ другихъ ея явленій: звука, свѣта, теплоты,—мы ощущаемъ,

видимъ и слышимъ ихъ; для электрическихъ же явленій мы не имѣемъ чувства, у насъ нѣтъ электрическаго глаза, нѣтъ электрическаго уха. Вотъ почему мы не видимъ и не ощущаемъ въ природѣ ничего электрическаго. Будь у насъ электрическое чувство,—и вся природа показалась бы намъ наполненной электрическими явленіями также, какъ теперь кажется она намъ пропитанной теплотой и свѣтомъ. Къ счастью, среди многихъ другихъ свойствъ, электричество обладаетъ однимъ въ высшей степени удобнымъ для насъ: электрическія явленія легко и почти безъ всякаго содѣйствія съ нашей стороны переходятъ въ явленія другого вида—свѣтъ, звукъ, теплоту. Потому только и доступна нашимъ чувствамъ эта сила, играющая въ природѣ столь значительную роль.

Въ силу самой природы электричества, при открытіи порождаемыхъ имъ явленій немалую роль игралъ случай. Какой либо изслѣдователь случайно наблюдалъ явленіе, котораго не ожидалъ и не могъ даже объяснить себѣ, а при провѣркѣ его наблюденія, съ измѣненіемъ обстоятельствъ, при которыхъ оно имѣло мѣсто, ему, либо кому другому, удавалось свести этотъ фактъ къ другимъ, болѣе простымъ.

Такъ, случайно Гальвани или, собственно говоря, какъ передаетъ разсказъ, его жена сдѣлали въ 1789 году наблюденіе, показавшееся сперва совершенно загадочнымъ. Именно, Гальвани зацѣпилъ мѣднымъ крючкомъ лягушечью лапку за конецъ ея нерва и повѣсилъ его на желѣзную рѣшетку балкона. Когда случайно отъ вѣтра нижній конецъ лапки пришелъ въ соприкосновеніе съ окружающимъ ее желѣзомъ, она сократилась,—и это происходило всякій разъ, когда Гальвани нарочно заставлялъ ее соприкасаться съ рѣшеткой балкона.

Этотъ, такимъ образомъ, случайно открытый экспериментъ обошелъ въ свое время всѣ научные кружки Европы, какъ нѣсколько лѣтъ назадъ было съ рентгеновскими лучами. Но какъ было понять этотъ опытъ Гальвани? Самъ Гальвани впалъ въ ошибку благодаря предубѣжденію, въ силу котораго онъ полагалъ, что экспериментъ этотъ указываетъ на существованіе уже давно предполагавшихся животнаго электричества и жизненной силы; но ему не удалось разложить этотъ, во всякомъ случаѣ, весьма запутанный комплексъ явленій на его простѣйшіе элементы. Профессоръ физики въ Павіи—Вольта—первый показалъ рядомъ опытовъ, что существенное значеніе въ этомъ явленіи принадлежитъ слѣдующему.

Во первыхъ, необходимо, чтобы кромѣ лягушечьей лапки было два различныхъ металла. У Гальвани таковыми были мѣдь и желѣзо, но могли быть также цинкъ и мѣдь, цинкъ и платина или вообще два какихъ нибудь различныхъ металла. Съ двумя одинаковыми металлами опытъ не удается.

Во вторыхъ, три существующія тѣла—лягушечья лапка и оба металла—должны образовать замкнутую цѣпь: мѣдь должна быть въ соприкосновеніи съ одной стороны—съ желѣзомъ, съ другой—съ лягушечьей лапкой, а желѣзо съ одной стороны—съ мѣдью, съ другой—съ тою же лапкой; иначе опытъ не удается.

Въ третьихъ, какую же роль играетъ въ этомъ экспериментѣ лягушечья лапка? Очевидно, что въ замкнутой цѣпи, образованной двумя металлами и лапкой, происходитъ нѣчто необыкновенное, обнаруживающееся прежде всего въ сокращеніи лапки. При этомъ возможны два случая, а именно: или для необычнаго процесса необходима вообще лягушечья лапка,—а таковъ и былъ взглядъ Гальвани, полагавшаго даже, что въ этомъ опытѣ можно усмотрѣть жизненную силу,—или же это необычайное явленіе само по себѣ вовсе не связано съ органической матеріей лягушечьей лапки, а сокращенія послѣдней указываютъ только на то, что въ ней происходитъ нѣчто достойное особаго нашего вниманія; она служитъ только реагентомъ процесса, совершенно также, какъ посинѣніе реагента крахмала указываетъ на присутствіе іода. Хотя второй взглядъ и не такъ близокъ къ самому явленію, однако онъ оказался правильнымъ. Не въ томъ дѣло, чтобы лягушечья лапка соприкасалась съ обоими металлами, а въ томъ, чтобы жидкость—какъ, напримѣръ, заключающаяся въ лапкѣ соленая вода—приходила въ соприкосновеніе съ двумя различными металлами, и чтобы эти послѣдніе, въ свою очередь, прикасались другъ къ другу; такимъ образомъ нужно, чтобы существовала замкнутая цѣпь, состоящая изъ жидкости и двухъ различныхъ металловъ.

Если поэтому два металла—цинкъ (*Zk*) и мѣдь (*Cu*)—находятся, какъ на рис. 1, въ какой либо жидкости, напр., въ разбавленной сѣрной кислотѣ или даже просто въ колодезной водѣ, и если мѣдь при посредствѣ прямой или согнутой мѣдной проволоки *AB* соединяется, какъ на рисункѣ, внѣ жидкости съ цинкомъ, то въ этой замкнутой цѣпи происходитъ то же необычное явленіе, что и въ опытѣ Гальвани. Въ дѣйствительности

это—то же самое, что и у Гальвани: только, вмѣсто желѣза и мѣди, берутся мѣдь и цинкъ, а лягушечью лапку замѣняетъ просто налитая въ сосудъ жидкость.

А что здѣсь, въ этой комбинаціи, называемой короткозамкнутымъ вольтаическимъ элементомъ, дѣйствительно существуетъ необычный процессъ,—въ этомъ пока мы можемъ только бездоказательно увѣрять читателей. Вѣдь въ самомъ элементѣ нѣтъ ничего необыкновеннаго. Мы нарочно удалили лягушечью лапку, которою пользовался Гальвани, и которая должна была реагировать на нѣчто необычное.

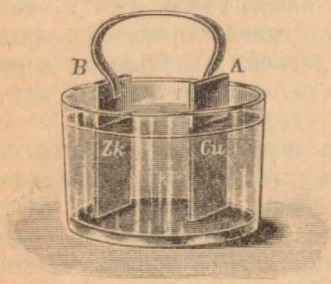


Рис. 1

Но тутъ намъ на помощь приходитъ второе случайное открытіе, сдѣланное копенгагенскимъ профессоромъ физики Эрстѐдтомъ. Когда онъ показывалъ на своихъ лекціяхъ такой замкнутый вольтаическій элементъ, то его слушатели замѣтили, что стрѣлка обыкновеннаго компаса, случайно находившагося невдалекѣ отъ проволоки AB, отклонялась. Находясь обыкновенно, какъ и всякая магнитная стрѣлка, въ юго-сѣверномъ направленіи, она подъ вліяніемъ проволоки AB переходила въ другое положеніе, направленное приблизительно съ востока на западъ.

Это и есть объективное доказательство того, что въ нашемъ замкнутомъ вольтаическомъ элементѣ происходитъ нѣчто необыкновенное. Находящаяся возлѣ него магнитная стрѣлка не заставляетъ насъ, какъ лягушечья лапка, подозрѣвать существованіе какой-то жизненной силы, а просто указываетъ своимъ отклоненіемъ на то, что близъ замкнутаго вольтаическаго элемента существуютъ какіе-то процессы и возникаютъ нѣкоторыя силы, незамѣтныя въ самомъ элементѣ.

Чтобы опытъ Эрштедта представить во вполнѣ удобномъ видѣ, магнитную стрѣлку помѣщаютъ, какъ на рис. 2 (она вращается на остріи), внутрь монтированной на деревѣ, согнутой мѣдной полосы. Къ обоимъ свободнымъ концамъ ея привинчиваются зажимы A и B. Стоитъ теперь только соединить посредствомъ проволокъ мѣдную пластинку вольтаиче-

скаго элемента съ А, а цинковую—съ В, и элементъ замыкается черезъ эти проволоки и мѣдную полоску. Оказывается, что магнитная стрѣлка тотчасъ же выходитъ изъ петли и послѣ нѣсколькихъ произведенныхъ ею колебаній останавливается въ иномъ положеніи, чѣмъ въ какомъ она была раньше. А чтобы передъ замыканіемъ вольтаическаго элемента магнитная стрѣлка стояла въ петлѣ, конечно, необходимо саму петлю, а слѣдовательно, и изображенный на рис. 2 приборъ, установить въ юго-сѣверномъ направленіи.

Итакъ, теперь у насъ есть способъ непосредственнаго констатированія того необычнаго процесса, который происходитъ въ замкнутомъ вольтаическомъ элементѣ, и относительно

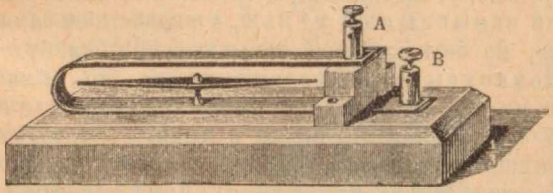


Рис. 2

котораго мы высказывали свои предположенія и утвержденія. Отклоненіе магнитной стрѣлки показываетъ намъ, что что-то происходитъ; благодаря ей мы получили искусственный глазъ, который даетъ намъ возможность обнаруживать существованіе неизвѣстнаго доселѣ явленія. Во всякомъ однако случаѣ магнитная стрѣлка не говоритъ намъ, что же именно происходитъ въ элементѣ или невдалекѣ отъ него. Чтобы имѣть возможность говорить хоть вкратцѣ объ этомъ, теперь уже констатированномъ, но по существу еще неизвѣстномъ процессѣ, мы, слѣдуя обычному обороту рѣчи, скажемъ такъ: въ замкнутомъ вольтаическомъ элементѣ протекаетъ электрическій или гальваническій токъ. Такой способъ выраженія, въ виду того, съ чѣмъ мы встрѣчались до сихъ поръ, кажется намъ однако невполнѣ пригоднымъ. Во первыхъ, подъ словомъ «токъ» подразумѣвается нѣчто движущееся, а здѣсь мы наблюдаемъ не что либо движущееся, а продолжительное отклоненіе магнитной стрѣлки, остающееся неизмѣннымъ во все время теченія опыта; во вторыхъ, повидимому, нельзя сказать, что нѣчто происходитъ въ замкнутомъ кругѣ: вѣдь

наблюдаемое нами дѣйствіе находится вблизи его, а не въ немъ самомъ. Уже изъ этого видно, что слова «гальваническій токъ», «электрическій токъ» представляютъ собою только краткій, но, быть можетъ, невполнѣ подходящій способъ выраженія для констатированнаго нами необыкновеннаго процесса.

Здѣсь полезно будетъ привести для соглашенія нѣсколько дальнѣйшихъ краткихъ обозначеній. Нашъ замкнутый вольтаическій элементъ состоялъ изъ жидкости, въ которую были погружены два металла, и изъ соединяющей ихъ обоихъ извнѣ мѣдной проволоки, которая, слѣдовательно, представляла собою ту же петлю нашего небольшого прибора, изображеннаго на рис. 2. Проволоку, соединяющую оба металла извнѣ, мы назовемъ внѣшней замыкающей цѣпью, а жидкость съ самими этими металлами, но безъ внѣшней замыкающей цѣпи, будемъ называть разомкнутымъ или незамкнутымъ вольтаическимъ элементомъ или же просто вольтаическимъ элементомъ. Концы обоихъ металловъ, цинка и мѣди, съ которыми соединяется внѣшняя замыкающая цѣпь, назовемъ полюсами элемента. Назовемъ затѣмъ гальваноскопомъ магнитную стрѣлку въ мѣдной петлѣ, такъ какъ она указываетъ намъ на существованіе гальваническаго тока.

Вооружившись такимъ гальваноскопомъ, мы можемъ тотчасъ же констатировать рядъ очень важныхъ данныхъ. Во первыхъ, мы можемъ видѣть, что внѣшняя замыкающая цѣпь вовсе не должна быть изъ того же металла, изъ котораго сдѣлана одна изъ пластинъ вольтаическаго элемента. Совершенно безразлично, замыкаемъ ли мы элементъ мѣдной, желѣзной, платиновой или какой нибудь другой проволокой,—во всякомъ случаѣ по ней протекаетъ гальваническій токъ, а магнитная стрѣлка отклоняется. Слѣдовательно, и нашъ гальваноскопъ вовсе не долженъ состоять изъ мѣдной петли: послѣдняя можетъ быть сдѣлана изъ латуни или серебра,—во всякомъ случаѣ магнитная стрѣлка отклоняется. Но прежде всего внѣшняя замыкающая цѣпь должна быть металлической. Попробовавъ замкнуть вольтаическій элементъ деревянной или стеклянной палочкой, либо шелковой или шерстяной ниткой, мы не получимъ отклоненія магнитной стрѣлки. Не получимъ мы его и въ томъ случаѣ, если оставимъ элементъ незамкнутымъ или соединеннымъ только черезъ посредство воздуха. Отсюда видно, что по отношенію къ электрическому току тѣла дѣлятся на

два класса. Такія тѣла, по которымъ при замыканіи ими нашего вольтаическаго элемента протекаетъ электрическій токъ, называются электрическими проводниками, другія—электрическими изоляторами.

Къ проводникамъ относятся всѣ металлы, затѣмъ уголь, графитъ, тѣла людей и животныхъ, а также многія жидкости, какъ растворы кислотъ и солей; къ изоляторамъ принадлежатъ дерево, стекло, каучукъ, фарфоръ, кожа, шерсть, шелкъ, слюда, воскъ, сѣра, сухія соли, янтарь, шеллакъ и масла.

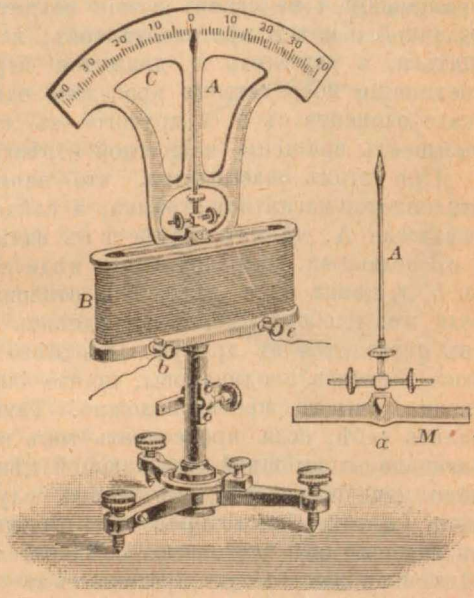


Рис. 3

Впрочемъ, мы увидимъ, что эта разница невполнѣ рѣзкая, что нельзя совершенно строго дѣлить тѣла на проводники и изоляторы; скорѣе можно сказать, что всѣ тѣла проводятъ токъ, но въ чрезвычайно различной степени. Металлы проводятъ особенно хорошо; жидкости—гораздо хуже; такъ называемые изоляторы — крайне плохо, а для практическихъ цѣлей и совсѣмъ не проводятъ. Тотъ же фактъ можно выразить и иначе, говоря, что всѣ тѣла противопоставляютъ току нѣкоторое сопротивленіе: изоляторы—чрезвычайно большое; другія вещества, какъ влажная бумага,—гораздо меньшее; наконецъ металлы—совсѣмъ незначительное.

Что касается самого гальваноскопа, то его легко устроить чувствительнѣе того, о которомъ говорилось выше. Для этого необходимо только, чтобы вокругъ магнитной стрѣлки лежала не одна мѣдная полоска или не одинъ проволочный оборотъ, а чтобы ее окружало гораздо большее число оборотовъ проволоки. Подобный, такъ называемый вертикальный гальва-

носкопъ изображенъ на рис. 3. На рисункѣ этомъ виденъ также отдѣльно изображенный магнитный стержень М, который посредствомъ лезвія *b* устанавливается на перекладинѣ внутри гальваноскопа и можетъ такимъ образомъ вращаться вокругъ горизонтальной оси. На магнитѣ укрѣпленъ указатель А, дѣлаемый обыкновенно изъ алюминія. Самъ гальваноскопъ состоитъ изъ деревянной рамы В, которая обмотана большимъ числомъ оборотовъ проволоки. Концы ея идутъ къ зажимнымъ винтамъ *b* и *e*. Внутри проволочныхъ оборотовъ помѣщается вращающійся на своемъ лезвіи магнитъ; лишь только по проволочной обмоткѣ протекаетъ токъ, магнитъ начинаетъ вращаться, а указатель А движется передъ шкалою *b*. При соединеніи посредствомъ проволоки одного полюса вольтаическаго элемента съ *b*, а другого—съ *e*, циркулирующій токъ вызываетъ вращеніе магнитной стрѣлки.

При этомъ оказывается, что направленіе, въ которомъ отклоняется магнитная стрѣлка, а слѣдовательно, и отклоненіе указателя А, мѣняется вмѣстѣ съ измѣненіемъ соединенія *b* и *e* съ полюсами. При соединеніи мѣди вольтаическаго элемента съ *b*, а цинка съ *e* указатель отклоняется въ одну сторону; если же, наоборотъ, цинкъ соединить съ *b*, а мѣдь съ *e*, то онъ отклонится въ другую. Изъ этого слѣдуетъ, что оба полюса элемента неодинаковы, но что они дѣйствуютъ въ нѣкоторомъ смыслѣ противоположно. Такое различіе можно объяснить себѣ, если представить токъ въ видѣ потока, протекающаго во внѣшней замыкающей цѣпи или вдоль ея, но это надо еще обосновать; въ такомъ случаѣ однимъ полюсомъ былъ бы тотъ, изъ котораго токъ вытекаетъ, а другимъ—тотъ, въ который онъ вступаетъ. Слѣдовательно, при измѣненіи соединенія полюсовъ токъ протекаетъ въ проволокѣ гальваноскопа въ противоположныхъ направленіяхъ: одинъ разъ отъ *b* къ *e*, другой—отъ *e* къ *b*. При такомъ представленіи мы можемъ сказать: при измѣненіи во внѣшней замыкающей цѣпи направленія тока мѣняется отклоненіе магнита, а слѣдовательно, и указателя.

Такъ какъ мы не видимъ, чтобы дѣйствительно между обоими полюсами что-то двигалось, то мы не можемъ знать и того, движется ли это что-то отъ мѣди къ цинку, или отъ цинка къ мѣди. Поэтому намъ надо дать опредѣленіе, котораго мы и будемъ придерживаться въ послѣдующемъ. Именно мы установимъ:

Электрическій токъ во внѣшней замыкающей цѣпи имѣетъ направленіе отъ мѣди къ цинку.

Мѣдный полюсъ назовемъ положительнымъ, а цинковый—отрицательнымъ. Слѣдовательно, во внѣшней замыкающей цѣпи токъ протекаетъ отъ положительнаго полюса къ отрицательному.

Впрочемъ, къ нашимъ разсужденіямъ слѣдуетъ добавить еще одно важное дополненіе. Магнитная стрѣлка отклоняется не только вблизи внѣшней замыкающей проволоки, но и возлѣ самого вольтаическаго элемента (если онъ замкнутъ!), изъ чего мы должны заключить, что гальваническій токъ протекаетъ не только во внѣшней соединительной проволокѣ, но и въ самомъ элементѣ, въ его жидкости и металлахъ. Для доказательства этого представимъ себѣ нашъ замкнутый вольтаическій элементъ въ такомъ видѣ, въ какомъ онъ изображенъ на рис. 4.

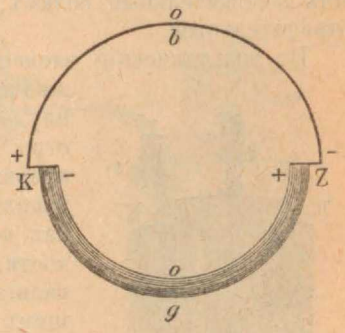


Рис. 4

Въ нижней своей части ZgK онъ представляетъ стеклянную трубку, наполненную разбавленной сѣрной кислотой, а верхняя часть ZbK состоитъ изъ проволоки, образующей внѣшнюю замыкающую цѣпь. Въ Z находится цинковая пластинка, въ K—мѣдная. Если къ проволокѣ, напр., въ b, поднести магнитную стрѣлку, то она отклоняется. Отклоняется она также и при поднесеніи ея къ g, изъ чего, въ силу нашего обозначенія, слѣдуетъ, что электрическій токъ протекаетъ и въ жидкости. Такъ какъ одинъ и тотъ же токъ существуетъ какъ въ b, такъ и въ g, то отсюда ясно, что въ самомъ вольтаическомъ элементѣ электрическій токъ протекаетъ отъ цинка къ мѣди, а внѣ его, напротивъ, отъ мѣди къ цинку.

Опредѣливъ разъ навсегда съ помощью нашего обозначенія направленіе тока въ проволокѣ гальваноскопа, мы можемъ затѣмъ опредѣлить и то, въ какую сторону будетъ вращаться и наша магнитная стрѣлка. Это было сдѣлано Ампером, почему и найденное имъ правило называется амперовымъ правиломъ пловца. Оно гласитъ слѣдующее:

Если представить себя плывущимъ по направленію

тока, причемъ лицо обращено къ магнитной стрѣлкѣ, то сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки отклонится налѣво.

Вмѣстѣ съ этимъ правиломъ мы пріобрѣтаемъ средство опредѣлять во всякомъ вольтаическомъ элементѣ, могущемъ состоять даже изъ различныхъ металловъ, какой полюсъ—положительный и какой—отрицательный. Соединяя полюсы съ гальваноскопомъ, мы смотримъ, въ какомъ направленіи мы должны, слѣдя за магнитной стрѣлкой, плыть по проволокѣ гальваноскопа, чтобы имѣть отклонившійся сѣверный полюсъ по лѣвую руку. Это и будетъ направленіемъ тока. Мѣсто его выхода есть положительный полюсъ, а то мѣсто, куда онъ приходитъ,—отрицательный.

Но вольтаическіе элементы съ двумя металлами и одной жидкостью для практическихъ цѣлей неудобны, такъ какъ дѣйствіе ихъ быстро ослабѣваетъ. Поэтому Даніель впервые перешелъ къ конструированію такихъ элементовъ, у которыхъ каждый изъ металловъ находится въ особой жидкости. Чтобы обѣ жидкости не смѣшивались, но всетаки были въ проводящемъ соединеніи, для этого одну изъ нихъ наливаютъ обыкновенно въ пористый глиняный цилиндръ, черезъ поры котораго и происходитъ соприкосновеніе жидкостей.

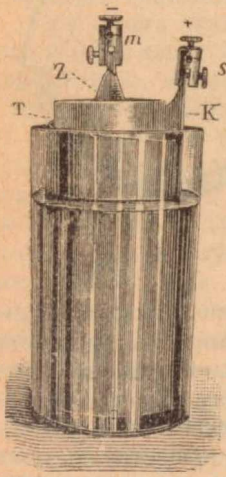


Рис. 5

Мы опишемъ нѣсколько наиболѣе употребительныхъ элементовъ, называемыхъ гальваническими элементами.

Въ элементѣ Даніеля (рис. 5) металлами служатъ цинкъ и мѣдь. Мѣдь погружается въ концентрированный растворъ мѣднаго купороса, цинкъ—въ разбавленную сѣрную кислоту. Растворъ мѣднаго купороса наливаютъ въ стеклянный сосудъ, въ который вставляется полый мѣдный цилиндръ K. Въ него вставляютъ затѣмъ глиняный цилиндръ T, наполненный разбавленной сѣрной кислотой, въ которую опускается массивный кусокъ цинка Z. Цинкъ имѣетъ на верхнемъ своемъ концѣ зажимной винтъ *m*, а мѣдный цилиндръ—зажимъ *s*, въ

которые можно включать внѣшнюю цѣпь тока. При этомъ цинковый полюсъ становится отрицательнымъ, а мѣдный—положительнымъ.

Также, какъ даніелевскій, устроенъ и элементъ Мейдингера, имѣющій широкое распространеніе въ телеграфіи и представленный въ разрѣзѣ на рис. 6. Металлами въ немъ служатъ также мѣдь и цинкъ, а жидкостями—растворы мѣднаго купороса и горькой соли; форма элемента такова, что нѣтъ надобности въ примѣненіи пористаго сосуда. Въ нѣсколько изогнутомъ у b стаканѣ A стоитъ цилиндръ zz. Внутри A вдѣланъ маленькій стаканчикъ d, въ которомъ нахо-

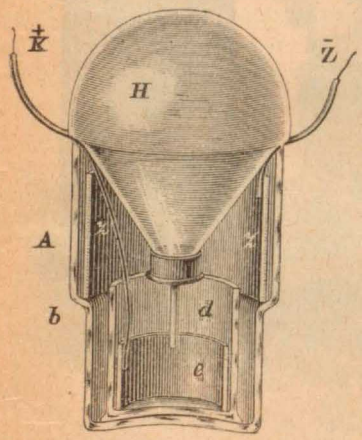


Рис. 6

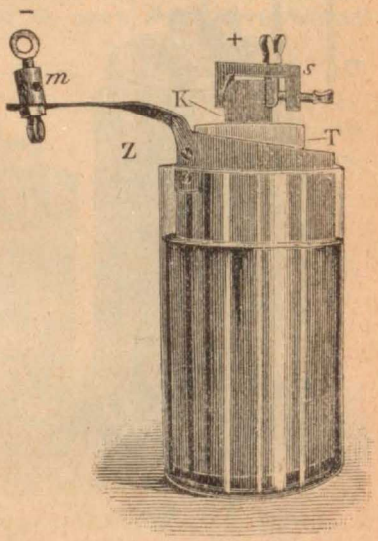


Рис. 7

дится мѣдный цилиндръ e. На краяхъ стакана A держится наполненный кристаллами мѣднаго купороса стеклянный шаръ H, нижній конецъ котораго входитъ въ d, оканчиваясь тамъ небольшимъ отверстіемъ. Стаканъ A наполняется слабымъ растворомъ горькой соли. Концентрированный растворъ мѣднаго купороса собирается внизу у мѣднаго цилиндра и очень медленно поднимается кверху. Отъ мѣди идетъ вверхъ окруженная стеклянной трубкой или гуттаперчей проволока K,

служащая положительнымъ полюсомъ. Точно также отъ цинковаго цилиндра идетъ наружу проволока Z, образующая отрицательный полюсъ. Такіе элементы называются шаровидными элементами.

Другимъ часто употребляющимся элементомъ является элементъ Бунзена (рис. 7). Однимъ металломъ въ немъ служитъ опять таки цинкъ, а другой замѣненъ углемъ, нѣкоторыя свойства котораго тожественны съ аналогичными свойствами металловъ. Цинкъ Z опять погружается въ разбавленную сѣрную кислоту, а уголь K—въ пористый сосудъ T,

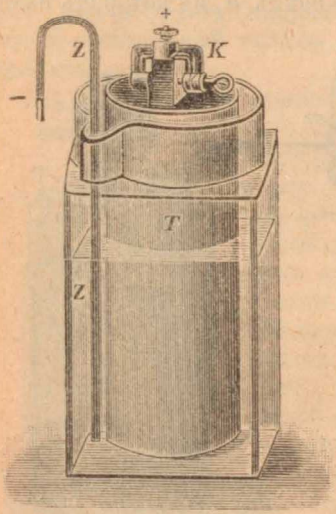


Рис. 8

Рис. 9

наполненный азотною кислотою. Цинкъ снова служитъ отрицательнымъ полюсомъ, а уголь—положительнымъ. На цинковомъ цилиндрѣ находится зажимной винтъ *m*, а на углѣ, для укрѣпленія внѣшней замыкающей проволоки, привинчена латунная скобка *s*.

Въ видѣ слѣдующаго гальваническаго элемента мы приведемъ изображенный на рис. 8 элементъ Лекланше, такъ какъ онъ имѣетъ очень большое употребленіе въ телефоніи и установкѣ электрическихъ звонковъ. Металлами въ немъ служатъ уголь и цинкъ. Уголь K, играющій роль положи-

тельнаго полюса, помѣщается въ пористомъ сосудѣ T, наполненномъ смѣсью марганца и угля, а цинковый стержень Z стоитъ въ растворѣ нашатыря. Слѣдовательно, въ этомъ элементѣ только одна жидкость. Четыре названныхъ элемента наиболѣе употребительны.

Въ послѣднее время часто употребляются такъ называемые сухіе элементы, которые для нѣкоторыхъ цѣлей очень удобны. Ихъ легко переносить, и къ тому же они всегда готовы къ употребленію, и, слѣдовательно, ихъ не надо всякій разъ собирать особо. Достигается это тѣмъ, что они не содержатъ жидкости, но наполнены массой, которая пропитана жидкостью и постоянно остается влажной. И въ нихъ, въ качествѣ метал-

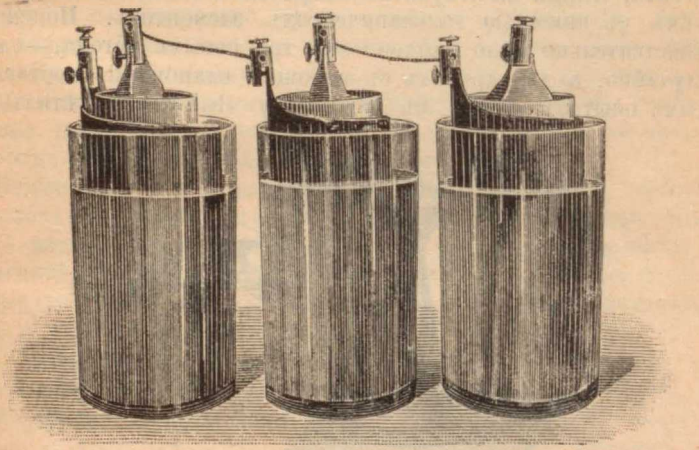


Рис. 10

ловъ, пользуются обыкновенно цинкомъ и углемъ; заполняющая же масса составляетъ тайну изобрѣтателя. Весьма употребительнымъ элементомъ такого рода является элементъ Геллезена (рис. 9), имѣющій форму ящичка и изготовляемый фирмою Сименса и Гальске на разныя величины. Согнутая проволока представляетъ собою конецъ отрицательнаго цинка, а зажимъ въ серединѣ ведетъ къ положительному углю.

Если у насъ есть нѣсколько одинаковыхъ или даже различныхъ гальваническихъ элементовъ, то мы, прежде всего, можемъ снарядить ихъ такъ, чтобы отрицательный полюсъ одного

изъ нихъ постоянно соединялся съ положительнымъ другого, какъ это видно на трехъ даніелевыхъ элементахъ на рис. 10.

Такой рядъ гальваническихъ элементовъ называется батареей или, еще лучше, цѣпью послѣдовательно соединенныхъ элементовъ. Въ подобной цѣпи свободны только два послѣднихъ металла, такъ какъ всѣ остальные соединены другъ съ другомъ то положительнымъ полюсомъ, то отрицательнымъ. Оба свободные металла называются полюсами цѣпи. Свойства такой цѣпи будутъ нами разсмотрѣны въ слѣдующей главѣ.

Благодаря открытію Эрштедтомъ отклоненія магнитной стрѣлки, стало, конечно, гораздо легче, чѣмъ раньше, изслѣдовать, нельзя ли получать электрическіе токи и инымъ путемъ, чѣмъ съ помощью гальваническихъ элементовъ. Понемногу дѣйствительно было найдено еще три новыхъ метода,—одинъ случайно, а два другихъ съ помощью планомѣрно поставленныхъ опытовъ. Такъ, въ 1823 году Зебекъ замѣтилъ, что

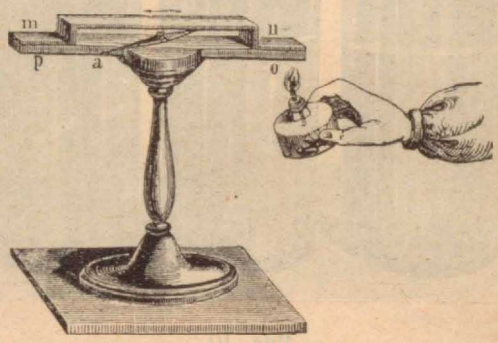


Рис. 11

если два различныхъ металла спаять или вообще даже только прикрѣпить другъ къ другу обоими ихъ концами, и если одно изъ мѣстъ спая доводить до болѣе высокой или низкой температуры (нагрѣваніемъ или охлажденіемъ), чѣмъ другое, то въ этой замкнутой цѣпи опять таки появляется электрическій токъ, отклоняющій находящуюся по близости магнитную стрѣлку.

Это очень легко показать слѣдующимъ образомъ. На рис. 11 *op* представляетъ висмутову полоску, къ которой

(у *m* и *n*) припаяна мѣдная дуга *mn*. Въ пустомъ пространствѣ между обоими металлами установлена могущая вращаться магнитная стрѣлка. Стоитъ только нагрѣть одно мѣсто спая, напр. *on*, какъ возникаетъ электрическій токъ, о чемъ свидѣтельствуетъ отклоненіе магнитной стрѣлки. Токъ протекаетъ во вполнѣ замкнутой цѣпи и имѣетъ указанное на рисункѣ направленіе отъ висмута черезъ нагрѣтое мѣсто спая къ мѣди, а отъ послѣдней—черезъ холодное обратно, о чемъ можно судить по направленію вращенія магнитной стрѣлки.

Токъ возникаетъ совершенно также и въ томъ случаѣ, если одно мѣсто спая, напр., *on*, охлаждать сравнительно съ другимъ, хотя бы окружая его льдомъ. Тогда положительный токъ протекаетъ отъ мѣди черезъ болѣе холодный спай къ висмуту, а слѣдовательно, также, какъ и раньше, отъ висмута черезъ болѣе теплое мѣсто спая къ мѣди. Токи эти называются термическими или термоэлектрическими токами. Итакъ, мы имѣемъ здѣсь гальваническіе токи, возникающіе не въ гальваническихъ элементахъ, а вызываемые лишь простымъ тепловымъ дѣйствіемъ.

Комбинація двухъ различныхъ спаянныхъ между собою металловъ называется термоэлементомъ. Если одинъ изъ двухъ металловъ перерѣзать, то токъ перестаетъ протекать, а магнитная стрѣлка болѣе не отклоняется. Однако оба отрѣзанные конца можно соединить любою проволокой, которая, какъ и раньше, образуетъ внѣшнюю замыкающую цѣпь. Въ такомъ случаѣ въ этой замкнутой цѣпи снова станетъ протекать токъ.

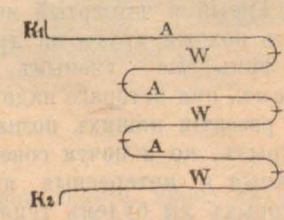


Рис. 12

Нѣсколько термоэлектрическихъ элементовъ можно соединять послѣдовательно, какъ и гальваническіе, для чего надо нагрѣвать всегда одинаковыя мѣста ихъ спая. Такимъ образомъ получается термоэлектрическій или термическій столбикъ. На рис. 12 представлена схематически такая комбинація нѣсколькихъ термоэлементовъ. Рядъ стерженьковъ A изъ сурьмы припаянъ къ ряду висмутовыхъ стерженьковъ W такимъ образомъ, что постоянно одинъ висмутовый стержень лежитъ между двумя сурьмяными. При нагрѣваніи одинаково расположенныхъ спаевъ токъ проходитъ постоянно черезъ

нагрѣтыя мѣста отъ висмута къ сурьмѣ. Свободные концы этого столбика, K_1 и K_2, конечно, можно соединить любою внѣшнею замыкающею проволокою. На рис. 13 данъ общій видъ подобнаго термическаго столбика, въ которомъ множество сурьмяныхъ и висмутовыхъ стерженьковъ спаяны такимъ образомъ, что всѣ одинаково расположенныя мѣста спая находятся по одну сторону и одновременно нагрѣваются или охлаждаются. Свободные концы перваго и послѣдняго стерженьковъ идутъ къ зажимнымъ винтамъ x и y и тамъ могутъ быть соединены проволокою, по которой, слѣдовательно, будетъ протекать токъ отъ термическаго столбика. Въ эту проволоку мы можемъ включить и нашъ гальваноскопъ, благодаря чему получимъ непосредственное указаніе на существованіе термическаго тока. Стрѣлка нашего гальваноскопа даетъ при этомъ лишь очень малыя отклоненія отъ положенія равновѣсія, и уже по сравненію этихъ незначительныхъ вращеній съ сильными размахами при токахъ отъ гальваническаго элемента мы видимъ, что термическіе столбики несравненно слабѣе гальваническихъ элементовъ. Болѣе точнымъ опредѣленіемъ этихъ количественныхъ отношеній мы займемся лишь въ слѣдующей главѣ.

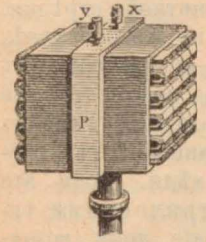


Рис. 13

Третій и четвертый методы полученія электрическихъ токовъ похожи другъ на друга. Оба они были найдены однимъ и тѣмъ же ученымъ, а именно Михаиломъ Фарадеемъ, имя котораго надо поставить на самомъ первомъ мѣстѣ въ развитіи нашихъ познаній по электричеству. Онъ не только открылъ, но и почти совершенно изслѣдовалъ тѣ необычайно важныя и интересныя явленія электрической индукціи, о которыхъ мы будемъ теперь говорить. Чтобы получить дѣйствительное понятіе о геніи Фарадея, нужно поглядѣть въ оригинальныя статьи его и увидѣть, сколько кропотливыхъ и трудныхъ опытовъ не удавалось ему, пока наконецъ, послѣ длиннаго ряда варьируемыхъ самымъ разнообразнымъ образомъ экспериментовъ, не обнаружились слѣды явленія, которое онъ старался найти; нужно видѣть, какъ потомъ онъ развилъ и разработалъ найденные слѣды. Теперь, когда эти явленія вполнѣ извѣстны, намъ уже нѣтъ надобности идти по той трудной, усѣянной шипами дорогѣ, которую долженъ былъ

избрать Фарадей,—теперь мы можемъ проникнуть сразу въ центръ явленій и воспользоваться оттуда тѣми условіями, которыя оказались наилучшими для возбужденія такъ называемыхъ индукціонныхъ токовъ.

Если въ цѣпи размыкается или замыкается электрическій токъ, то въ находящемся вблизи него замкнутомъ проводникѣ всегда возникаетъ моментальный электрическій токъ.

Итакъ, обѣ цѣпи проводниковъ совершенно отдѣлены одна отъ другой; между ними нѣтъ никакого проводящаго соеди-

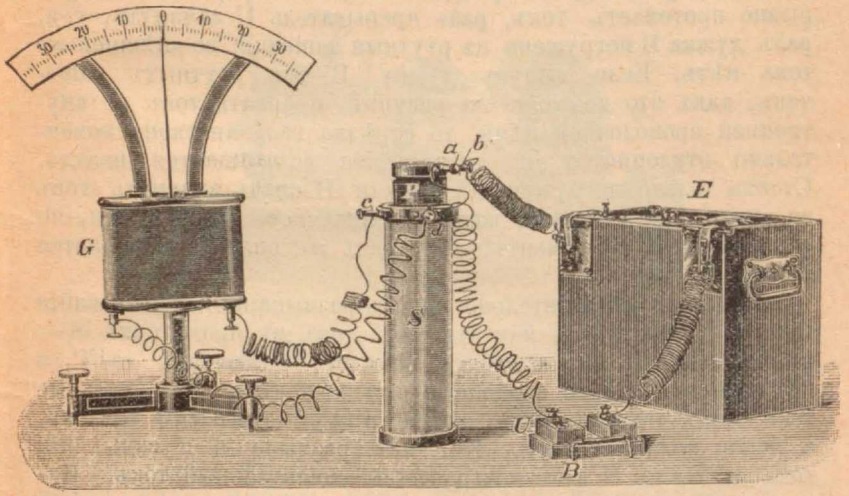


Рис. 14

ненія, и все же при замыканіи и размыканіи проводника съ проходящимъ по немъ токомъ въ замкнутой проволочной цѣпи безъ тока возникаетъ моментальный гальваническій токъ. Это открытое Фарадеемъ явленіе, согласно его обозначенію, называется индукціей. Чтобы вызвать его безъ труда, необходимо, чтобы обѣ цѣпи тока были совсѣмъ недалеко одна отъ другой. Для этого лучше всего служатъ два деревянныхъ цилиндра, изъ которыхъ каждый обмотанъ спиралеобразно проволокой. Болѣе узкій цилиндръ вставляется въ продольное отверстіе болѣе широкаго. Такимъ образомъ получаютъ двѣ

разъединенныя одна отъ другой проволоки, находящіяся очень близко другъ отъ друга. На рис. 14 оба эти цилиндра обозначены буквами P и S. Концы проволоки, намотанной на широкомъ цилиндрѣ C, подводятся къ двумъ зажимнымъ винтамъ *c* и *d*, которые проволоками же соединяются съ гальваноскопомъ. Концы, проволоки на внутреннемъ цилиндрѣ подводятся къ зажимамъ *a* и *b*, а внутренняя катушка посредствомъ прерывателя U (двухъ ртутныхъ чашечекъ, въ которыя можно опускать концы дужки B) соединяется съ батареей, находящейся здѣсь же, въ ящикѣ. Такимъ образомъ имѣются двѣ замкнутыя цѣпи проводниковъ; во внутренней безпрерывно протекаетъ токъ, разъ прерыватель U замкнутъ, т. е. разъ дужка B погружена въ ртутныя чашечки; во внѣшней же тока нѣтъ. Если вынувъ дужку B изъ ртутныхъ чашечекъ, какъ это показано на рисункѣ, прервать токъ во внутренней проволочной цѣпи, то стрѣлка гальваноскопа моментально отклоняется, но тотчасъ же возвращается назадъ. Стоитъ только погруженіемъ дужки B опять замкнуть токъ во внутренней спирали, какъ стрѣлка снова отклоняется, но также только на моментъ, и тотчасъ же опять возвращается назадъ.

Итакъ, въ дѣйствительности, при размыканіи или замыканіи тока въ P возникаетъ моментальный токъ въ проводникѣ S— въ проводникѣ, не имѣющемъ никакого соединенія съ P, а находящемся только невдалекѣ отъ него. Эти моментальные токи, какъ сказано, называются индукціонными токами, а также можно сказать, что, при размыканіи и замыканіи тока въ P, въ S индуктируется моментальный токъ. Катушка P называется индуктирующей или первичной катушкой; катушка же S—индиктируемой, индукціонной, а также и вторичной катушкой.

При разсматриваніи отклоненій стрѣлки гальваноскопа, вызываемыхъ моментальными индукціонными токами, видно, что въ направленіи отклоненія существуетъ нѣкоторая разница въ зависимости отъ того, размыкается ли индуктирующій токъ или замыкается. При размыканіи индуктирующаго тока стрѣлка движется въ одну сторону, при замыканіи же она направляется въ другую. Это, а также точное примѣненіе правила Ампера приводитъ насъ къ заключенію, что индуктируемый токъ, возникающій при замыканіи, протекаетъ въ индукціонной катушкѣ въ противоположномъ на-

правленіи, чѣмъ индуктирующій токъ въ индуктирующей обмоткѣ; напротивъ того, индукціонный токъ, возникающій при размыканіи, имѣетъ то же направленіе, что и токъ въ индуктирующей обмоткѣ.

Индуктирующій токъ, т. е. тотъ, который находится въ обмоткѣ P, называютъ также часто первичнымъ, а индуктируемый—вторичнымъ токомъ. Поэтому можно сказать:

Индукціонный токъ (вторичный токъ) имѣетъ при замыканіи направленіе, одинаковое съ первичнымъ токомъ, а при размыканіи—противоположное.

Индуктирующее вліяніе тока на цѣпь, состоящую изъ про-

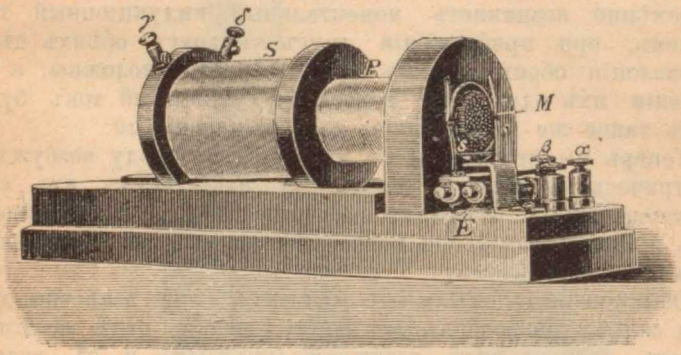


Рис. 15

волоки, идетъ однако еще дальше. Нужно только сдвинуть какъ нибудь одну обмотку по отношенію къ другой, чтобы получить моментальный индукціонный токъ. Заставляя токъ протекать по первичной катушкѣ P, изображенной на рис. 15, и только передвигая надъ нею болѣе широкую индукціонную катушку S, въ послѣдней получаютъ уже индукціонные токи. Передвигая S въ ту или другую сторону, во всякомъ случаѣ получаютъ индукціонный токъ, но оба раза въ противоположныхъ направленіяхъ. Слѣдовательно, чтобы получить индукціонный токъ, нужно только придвинуть вторичную катушку къ первичной или отодвинуть ее отъ нея. При придвиганіи и отодвиганіи, конечно, безразлично, движется ли первичная катушка, а вторичная, индуктируемая, стоитъ неподвижно, или наоборотъ: неподвижно

стоитъ первичная катушка, а передвигается вторичная. При сближеніи первичной и индуктируемой катушекъ другъ съ другомъ въ S протекаетъ токъ въ направленіи, противоположномъ направленію тока въ P, совершенно также, какъ при замыканіи тока. При взаимномъ удаленіи P и S другъ отъ друга индукціонный токъ въ S имѣетъ, напротивъ того, то же направленіе, что и въ P. Слѣдовательно, при отодвиганіи катушекъ индукціонный токъ имѣетъ такое же направленіе, какъ и при размыканіи.

Итакъ, если двѣ цѣпи, состоящія изъ проволокъ, одна безъ тока, а другая съ протекающимъ по ней токомъ, будутъ ѣнять свое взаимное положеніе, то въ первой изъ нихъ непремѣнно возникнетъ моментальный индукціонный токъ, причемъ, при приближеніи другъ къ другу обѣихъ цѣпей, направленія обоихъ токовъ будутъ противоположны, а при удаленіи ихъ одна отъ другой индукціонный токъ будетъ имѣть такое же направленіе, какъ и первичный.

Теперь мы приходимъ къ четвертому роду возбужденія электрическихъ токовъ, имѣющему изъ всѣхъ ихъ самое большое значеніе. Фарадей получилъ такія же самыя явленія, какъ и описанныя выше, воспользовавшись, вмѣсто первичной цѣпи тока, магнитомъ.

Обыкновенные стальные магниты, какъ извѣстно, дѣлаются самыхъ разнообразныхъ формъ: либо въ видѣ желѣзныхъ подковъ, либо въ видѣ стержней (круглыхъ и съ углами), или, наконецъ, въ формѣ длинныхъ тонкихъ иглъ. Оба конца магнита называются, какъ извѣстно, его полюсами: одинъ—сѣвернымъ, а другой—южнымъ. Сѣверный полюсъ магнита есть тотъ его конецъ, который направляется къ географическому сѣверу, если магнитъ установленъ на остріи или подвѣшенъ на нити такимъ образомъ, что можетъ вращаться. Въ продажныхъ магнитахъ на этомъ полюсѣ обыкновенно проводится красная черта или дѣлается для распознаванія какой либо иной знакъ.

При приближеніи магнита къ замкнутой проволочной цѣпи, напримѣръ, къ проволочной катушкѣ, въ послѣдней получается моментальный индукціонный токъ; то же наблюдается и при удаленіи магнита. Эти чрезвычайно важныя явленія называются магнито-электрической индукціей, въ отличіе отъ вольта-электрической индукціи, о которой говорилось выше. Такъ, если вдвигать магнитный стержень NS, какъ на рис. 16, въ проволочную катушку A, концы которой со-

единяются между собою черезъ гальваноскопъ G, то въ ней возникаетъ моментальный индукціонный токъ, вызывающій отклоненіе магнитной стрѣлки гальваноскопа. Если теперь магнитъ снова вытягивать изъ проволочной катушки, то опять получается моментальный индукціонный токъ, который однако

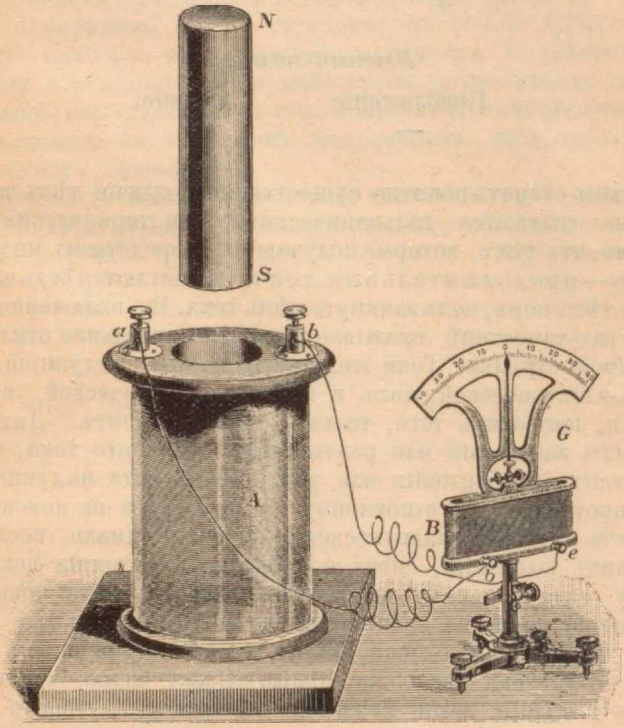


Рис. 16

протекаетъ въ противоположномъ направленіи. Всякое приближеніе магнита къ проволочной спирали, всякое его отъ нея удаленіе вызываетъ индукціонный токъ. Направленія индукціонныхъ токовъ при приближеніи и удаленіи противоположны; они противоположны и въ томъ случаѣ, если приближать сѣверный полюсъ магнита вмѣсто южнаго. Если мы, слѣдовательно, обозначимъ знакомъ + то направленіе тока,

которое онъ имѣетъ при приближеніи къ матушкѣ. А сѣвернаго полюса, то у насъ получится для направленій тока слѣдующая схема:

Сѣверный полюсъ.

Приближеніе. Удаленіе.
\+ —

Южный полюсъ.

Приближеніе. Удаленіе.
— +

Тотчасъ станетъ понятно существенное отличіе тѣхъ токовъ, которые создаются гальваническими или термическими элементами, отъ тѣхъ, которые получаются посредствомъ индукціи. Первые—продолжительные токи. Они остаются безъ измѣненія до тѣхъ поръ, пока замкнута цѣпь тока. Во включенномъ въ цѣпь гальваноскопѣ оказывается продолжительное отклоненіе магнитной стрѣлки. Токи же, возбужденные индукціей, какъ вольта-электрической, такъ и магнито-электрической, продолжаются, напротивъ того, только одинъ моментъ. Лишь въ моментъ замыканія или размыканія первичнаго тока, только въ моментъ приближенія или удаленія магнита индукціонный токъ протекаетъ по вторичному проводнику и на моментъ отклоняетъ стрѣлку гальваноскопа, которая однако, послѣ нѣсколькихъ колебаній, снова приходитъ въ состояніе покоя, къ своему юго-сѣверному положенію. Индукціонные токи продолжаются короткое время: они суть моментальные токи. Такіе моментальные токи слѣдуютъ нѣсколько инымъ законамъ, чѣмъ токи продолжительные. Сразу видно, что посредствомъ индукціи легко можно достигнуть слѣдующаго. Если, напр., магнитный стержень вдвинуть въ катушку и затѣмъ тотчасъ же снова выдвинуть, опять вдвинуть и выдвинуть, и такъ далѣе, то въ замкнутомъ проводникѣ всякій разъ получится моментальный токъ; только при этомъ отдѣльные кратковременные токи будутъ имѣть направленіе, мѣняющееся постоянно то въ ту, то въ другую сторону. Если подобные противоположные токи слѣдуютъ другъ за другомъ очень быстро, по нѣскольку разъ въ секунду, то они называются перемѣнными токами, которые и будутъ въ такомъ случаѣ протекать по нашей цѣпи. Въ противоположность имъ, токи,

протекающіе всегда въ одномъ и томъ же направленіи, называются **постоянными**. Легко видѣть, что на нашъ гальваноскопъ перемѣнные токи не будутъ дѣйствовать вовсе. Первый токъ, напр., будетъ стремиться отклонить стрѣлку вправо; у второго же, такой же силы, но противоположнаго направленія, будетъ стремленіе повернуть ее влѣво. Поэтому стрѣлка, какъ буридановъ оселъ, останется въ покоѣ. Существуютъ однако приборы, какъ электродинамометры и телефоны, на которые перемѣнные токи дѣйствуютъ точно также, какъ на гальваноскопы дѣйствуютъ токи постояннаго направленія. Съ ихъ помощью мы и сможемъ современемъ изслѣдовать токи перемѣннаго направленія.

Но прежде всего намъ нужно составить себѣ нѣкоторыя опредѣленныя понятія о количественныхъ отношеніяхъ постоянныхъ токовъ.

ГЛАВА ВТОРАЯ

Законы постоянныхъ электрическихъ токовъ

Содержаніе: Сила тока и измѣреніе ея. — Амперметръ. — Законъ Ома. — Электродвижущая сила гальваническихъ элементовъ и термоэлементовъ. — Послѣдовательное и параллельное включеніе элементовъ. — Термическій столбикъ Гюльхера. — Потеря напряженія. — Развѣтвленіе тока. — Вольтметръ. — Приборы: балластныя сопротивленія, выключатели, коммутаторы.

Хотя до сихъ поръ мы еще не дали, да и не могли дать никакой особой картины того, что дѣйствительно происходитъ въ электрическомъ токѣ, однако необходимо и возможно установить нѣкоторыя опредѣленныя понятія и обозначенія касательно обстоятельствъ, сопровождающихъ явленія токовъ, съ которыми мы думаемъ оперировать далѣе.

По отклоненію магнитной стрѣлки мы выводимъ заключеніе о существованіи электрическаго тока въ окружающей ее проволокѣ или вдоль послѣдней. У магнитной стрѣлки есть постоянное стремленіе стать перпендикулярно къ проволокѣ, по которой протекаетъ токъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ она всегда стремится принять свое естественное направленіе съ юга на сѣверъ, потому что въ силу вліянія земного магнетизма въ ней, какъ извѣстно, проявляется стремленіе указывать на сѣверъ. Благодаря этимъ двумъ вліяніямъ стрѣлка приходитъ въ нѣкоторое опредѣленное положеніе. Мы уже знаемъ, что магнитная стрѣлка отклоняется отъ сѣверо-южнаго направленія то сильнѣе, то слабѣе; отъ элемента Даніеля она отклоняется сильно, отъ термоэлемента — слабо. Слѣдовательно, намъ извѣстно, что два электрическіе тока могутъ отличаться другъ отъ друга по силѣ своихъ дѣйствій на магнитную стрѣлку.

Вотъ почему цѣлесообразенъ и близокъ, вѣроятно, къ истинѣ тотъ способъ выраженія, пользуясь которымъ, мы приписываемъ бо́льшую или меньшую силу самимъ токамъ. Мы можемъ установить, что сила или—что то же самое—интенсивность тока тѣмъ больше, чѣмъ больше его магнитное дѣйствіе. Поэтому стрѣлка нашего гальваноскопа отклоняется отъ сѣверо-южнаго направленія тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше сила протекающаго вокругъ нея и вліяющаго на нее гальваническаго тока. Слѣдовательно, и обратно: пользуясь величиной вращенія нашей магнитной стрѣлки, мы могли бы сравнивать съ нею силу различныхъ протекающихъ вокругъ нея токовъ, т. е мы можемъ говорить, что одинъ токъ равенъ половинѣ другого, вдвое, втрое больше его. Для нашихъ цѣлей достаточно прежде всего то, что гальваноскопъ даетъ намъ средство сравнивать между собою силы токовъ.

Но отклоненіе магнитной стрѣлки — не единственное магнитное дѣйствіе, выказываемое электрическимъ токомъ. Впослѣдствіи мы познакомимся и со многими другими его магнитными вліяніями. Здѣсь надо привести только одно изъ нихъ, такъ какъ въ немъ заключается простой способъ дѣйствительнаго измѣренія силы токовъ.

Если мы намотаемъ спиралеобразно, какъ показано на рис. 17, на полую катушку нѣсколько оборотовъ проволоки и пропустимъ по послѣдней электрическій токъ, то возлѣ этой

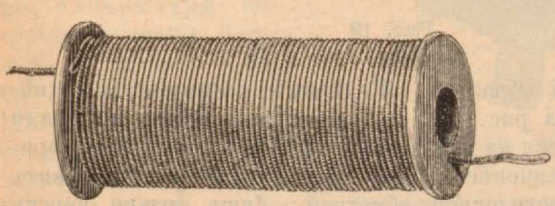


Рис. 17

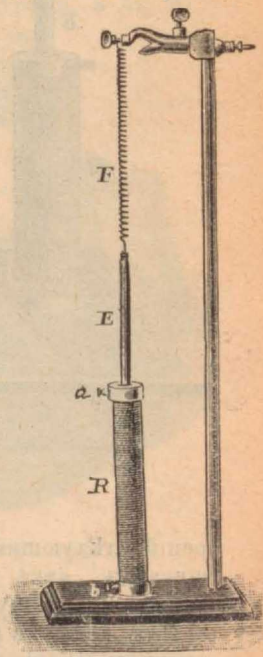


Рис. 18

катушки, а именно въ ея полости, будутъ существовать значительныя магнитныя силы. Если, напр., какъ на рис. 18, мы подвѣсимъ надъ этой катушкой R на спиральной пружинѣ F

стержень изъ мягкаго желѣза E, то въ моментъ появленія тока желѣзный сердечникъ втянется въ катушку, въ которой и будетъ оставаться до тѣхъ поръ, пока протекаетъ этотъ токъ. Лишь только послѣдній будетъ разомкнутъ, т. е. перестанетъ протекать, какъ желѣзный стержень снова выйдетъ изъ катушки.

Этимъ легко воспользоваться для количественныхъ измѣ-

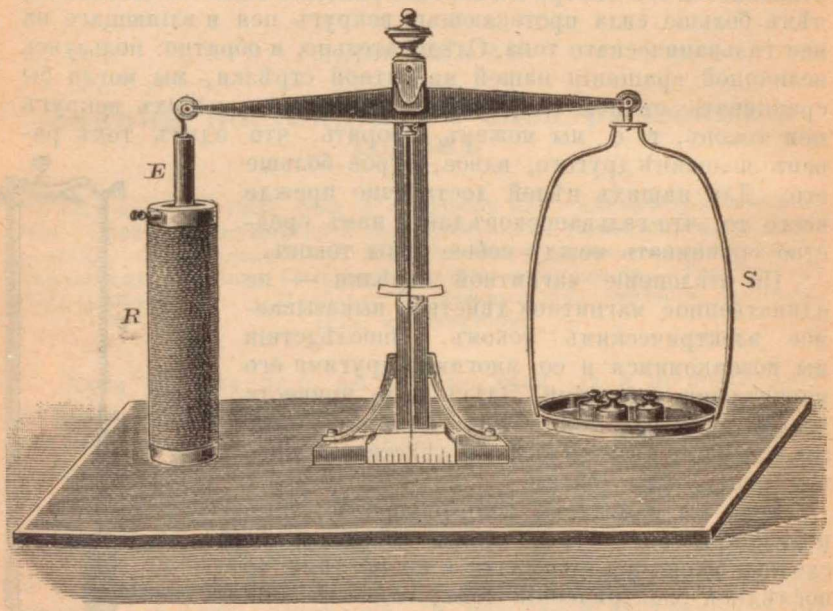


Рис. 19

реній слѣдующимъ образомъ. Желѣзный стержень E подвѣшиваютъ, какъ на рис. 19, къ коромыслу вѣсовъ и, кладя гири на находящуюся на другомъ концѣ коромысла чашку, приводятъ вѣсы въ равновѣсіе. Подъ желѣзный стержень ставятъ катушку R съ проволочной обмоткой. Лишь только черезъ катушку R пропустятъ электрическій токъ, какъ стержень втягивается въ нее, и, чтобы вѣсы опять достигли равновѣсія, надо положить на другую чашку рядъ новыхъ гирекъ. Гирьки эти и будутъ служить мѣрою магнитнаго дѣйствія, а слѣдовательно, согласно нашему опредѣленію, и силы тока. Такимъ обра-

зомъ съ помощью гирекъ легко можно сравнивать между собою токи различной силы. Если для приведенія вѣсовъ въ равновѣсіе при одномъ токѣ нужно гирь вдвое больше, чѣмъ при другомъ, то мы говоримъ, что первый токъ обладаетъ вдвое большей силой, чѣмъ второй. Если теперь нѣкоторую опредѣленную силу тока, которая поэтому представляется на нашемъ приборѣ нѣкоторымъ опредѣленнымъ вѣсомъ, принимать постоянно за единицу, то съ нею можно сравнивать и всѣ другія силы токовъ. Это на самомъ дѣлѣ и дѣлается. Нѣкоторую опредѣленную силу тока принимаютъ за единицу, называемую 1 амперомъ. Какъ она была установлена, объ этомъ мы скажемъ въ свое время. Силы токовъ измѣряются въ амперахъ точно также, какъ длина—въ метрахъ, а въ то же время для выраженія силъ токовъ въ амперахъ у насъ есть простое средство. Такимъ образомъ говорятъ о токахъ силою въ 5, 10, 100 и т. д. амперъ. Тысячную долю ампера называютъ миллиамперомъ.

20.

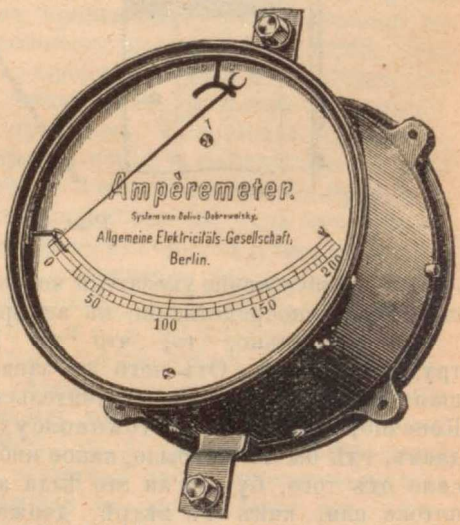


Рис. 20

Для удобнаго опредѣленія и непосреднаго отсчитыванія силы тока въ амперахъ строятъ особые приборы, амперметры, которые основаны большею частью какъ разъ на вышеупомянутомъ втягиваніи желѣзнаго сердечника въ проволочную обмотку. Внѣшній видъ такого амперметра Всеобщей Компаніи Электричества (A. E. G.) въ Берлинѣ представленъ на рис. 20; внутреннее же его устройство изображено на рис. 21. Внутри этого прибора находится проволочная катушка a, на верху которой прилаженъ вращающійся, согнутый угломъ, рычажокъ. На послѣднемъ находится чрезвычайно легкій, около 0,04 гр., же-

лѣзный сердечникъ *e*, который, благодаря току, втягивается болѣе или менѣе значительно въ обмотку. Вслѣдствіе вращенія оси *c*, на которую онъ насаженъ, вращается и указатель *f*, дающій показанія на шкалѣ. Опредѣляютъ разъ навсегда, гдѣ указатель устанавливается при пропусканіи черезъ проволочную катушку токовъ въ 5, 10, 20 и т. д. амперъ.

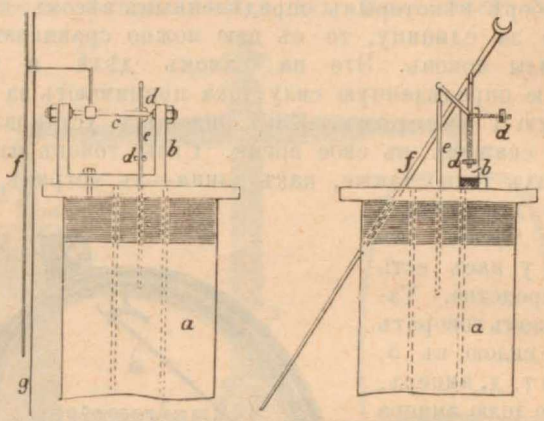


Рис. 21

Затѣмъ по положенію указателя можно, наоборотъ, отсчитывать силу тока непосредственно въ амперахъ.

Слѣдовательно, то, что мы назвали силою тока, нетрудно измѣрить. Отъ чего же зависитъ бо́льшая или меньшая сила тока, какія обстоятельства обусловливаютъ ее? Конечно, прежде всего токовозбудитель. Разъ мы наблюдаемъ, гдѣ бы то ни было, какое нибудь движеніе, то, независимо отъ того, будетъ ли это ѣзда экипажа, теченіе водяного потока или, какъ въ вѣтрѣ, движеніе воздуха, во всякомъ случаѣ непремѣнно должна существовать нѣкоторая побудительная сила, вызывающая это движеніе. Ею-то какъ разъ и обладаютъ наши элементы, какъ гальваническіе, такъ и термоэлектрическіе. Откуда она берется, о томъ впослѣдствіи мы будемъ говорить подробнѣе; теперь же замѣтимъ только, что въ первыхъ она создается химическими процессами, а въ послѣднихъ—самой доставляемой теплотой. Эту побудительную силу, вызывающую прохожденіе тока, будемъ называть электродвижущею силою. Итакъ, всякій гальваническій,

какъ и всякій термоэлектрическій элементъ обладаютъ нѣкоторой опредѣленной электродвижущей силой. Чѣмъ больше электродвижущая сила токовозбудителя, тѣмъ при прочихъ равныхъ условіяхъ больше и сила тока. Но, кромѣ электродвижущей силы, сила тока существенно зависитъ и отъ того, каковы проволоки, по которымъ онъ протекаетъ. Дѣйствительно, уже раньше мы убѣдились, что всѣ тѣла противопоставляютъ прохожденію электричества нѣкоторое сопротивленіе, изоляторы—чрезвычайно большое, полупроводники—меньшее, проводники—относительно незначительное. Чѣмъ болѣе сопротивленіе, которое току надо преодолѣть на всемъ своемъ пути, тѣмъ менѣе сила тока. Такимъ образомъ сила тока, кромѣ электродвижущей силы его источника, зависитъ еще и отъ всего сопротивленія, которое долженъ токъ преодолѣть при своемъ прохожденіи. Сопротивленіе же это складывается изъ различныхъ составныхъ частей. Оно состоитъ изъ сопротивленія, представляемаго току самимъ элементомъ, его металлами и жидкостями, а также изъ сопротивленія соединительныхъ проволокъ, т. е. всѣхъ проволокъ, черезъ которыя долженъ пройти токъ, а слѣдовательно, если онъ идетъ черезъ амперметръ, то и изъ сопротивленія проволокъ послѣдняго. Что собственно разумѣемъ мы подъ сопротивленіемъ, объ этомъ мы будемъ говорить впослѣдствіи особо. Во всякомъ случаѣ, у насъ есть слѣдующее положеніе:

Чѣмъ больше электродвижущая сила источника тока, тѣмъ сила тока больше, а чѣмъ больше полное сопротивленіе цѣпи тока, тѣмъ она меньше. Если общее сопротивленіе дѣлается вдвое, втрое, въ четыре раза больше, чѣмъ было (между тѣмъ какъ электродвижущая сила остается безъ измѣненія), то и сила тока становится равной половинѣ, третьей, четвертой части первоначальнаго.

Законъ этотъ, самый важный во всемъ ученіи объ электричествѣ, называется закономъ Ома.

Его можно выразить въ слѣдующей формѣ:

Во всякой простой замкнутой цѣпи тока сила его равна электродвижущей силѣ, дѣленной на общее сопротивленіе.

$$\text{Сила тока} = \frac{\text{электродвижущая сила}}{\text{сопротивленіе}}$$

Этотъ законъ Ома справедливъ для всякаго гальваническаго тока, если только принимать въ разсчетъ всѣ суще-

ствующія въ цѣпи электродвижущія силы и всѣ сопротивленія.

Что касается двухъ вновь введенныхъ величинъ, электродвижущей силы и сопротивленія, то ихъ во многихъ случаяхъ можно опредѣлить очень просто, съ помощью того же нашего амперметра. И въ самомъ дѣлѣ, если мы возьмемъ какой либо элементъ съ опредѣленной электродвижущей силой, напр., Даніеля, и заставимъ получающійся отъ него токъ протекать по проволокамъ различной длины, различнаго поперечнаго сѣченія, и сдѣланнымъ изъ различныхъ матеріаловъ, то на амперметрѣ все время будемъ видѣть различныя силы токовъ. Силы эти тѣмъ меньше, чѣмъ больше сопротивленіе цѣпи тока, при томъ условіи, что электродвижущая сила все время остается одной и той же. Этимъ путемъ мы можемъ совершенно непосредственно опредѣлить, въ какой зависимости находится сопротивленіе проволоки отъ ея длины, поперечнаго сѣченія и вещества, изъ котораго она сдѣлана. Такимъ образомъ было найдено, что сопротивленіе проволоки тѣмъ больше, чѣмъ она длиннѣе, и что оно тѣмъ меньше, чѣмъ проволока толще, чѣмъ, слѣдовательно, больше ея поперечное сѣченіе.

Форма поперечнаго сѣченія, кругла ли она, четыреугольна или неправильна, безразлична. Значеніе имѣетъ только величина.

Сопротивленіе существенно зависитъ также и отъ рода вещества, изъ котораго сдѣланъ проводникъ. Такъ, напр., ртутный столбъ въ 1 метръ длиною и 1 кв. миллиметръ въ поперечникѣ имѣетъ иное сопротивленіе, чѣмъ алюминіевая проволока такой же длины и такого же поперечнаго сѣченія. Поэтому, если, напр., сопротивленіе столба ртути опредѣленной длины и опредѣленнаго поперечнаго сѣченія принять за единицу, то для всякаго другого проводящаго вещества можно найти число, указывающее, во сколько разъ при однихъ и тѣхъ же длинѣ и поперечномъ сѣченіи его сопротивленіе больше или меньше. Число это называется удѣльнымъ сопротивленіемъ, отнесеннымъ, какъ къ единицѣ, ко ртути. Ниже мы дадимъ въ таблицахъ удѣльныя сопротивленія многихъ металловъ и другихъ проводниковъ; здѣсь же укажемъ только въ видѣ примѣра, что удѣльное сопротивленіе желѣза, отнесенное, какъ къ единицѣ, ко ртути, равно 0,13, а графита — 12,0. Это значитъ, что желѣзная проволока имѣетъ сопро-

тивленіе, равное приблизительно всего лишь осьмой части сопротивленія столба ртути такой же длины и такого же поперечнаго сѣченія, а сопротивленіе графитнаго стержня въ двѣнадцать разъ больше послѣдняго.

Такимъ образомъ мы можемъ теперь высказать слѣдующій законъ:

Сопротивленіе проводника равно его удѣльному сопротивленію, помноженному на его длину и дѣленному на поперечное сѣченіе:

$$\text{Сопротивленіе проводника} = \text{уд. сопр.} \times \frac{\text{длина}}{\text{поперечное сѣч.}}$$

Это справедливо для проводниковъ всякаго рода, какъ твердыхъ, вродѣ металловъ и угля, такъ и жйдкихъ, а слѣдовательно, и жидкостей въ гальваническихъ элементахъ. Хотя жидкость и не имѣетъ формы проволоки, однако можно говорить о длинѣ и поперечномъ сѣченіи жидкаго проводника, по которому проходитъ токъ.

Такъ какъ сопротивленіе проволоки есть величина, зависящая только отъ ея размѣровъ и вещества, но нисколько не зависящая отъ проходящаго по ней тока, то единицей можно назвать любое сопротивленіе, а принявъ его за таковую, и всѣ сопротивленія выражать въ этой единицѣ. Это практикуется и на самомъ дѣлѣ. За единицу сопротивленія принимаютъ сопротивленіе ртутнаго столба въ 106,3 см. длиною и 1 кв. мм. поперечнаго сѣченія. Единицу эту называютъ 1 омомъ. Слѣдовательно, всѣ сопротивленія выражаются въ омахъ.

Въ слѣдующей таблицѣ приведены удѣльныя сопротивленія ряда металловъ (отнесенныя ко ртути [Hg]).

Величина, обратная удѣльному сопротивленію, называется удѣльною проводимостью (также отнесенною ко ртути). Такъ какъ, напр., удѣльное сопротивленіе алюминія есть 0,027, то его удѣльная проводимость есть $\frac{1}{0{,}027} = 37$, т. е. алюминій проводитъ токъ въ 37 разъ лучше ртути. Въ слѣдующей таблицѣ содержатся и числа для проводимостей.

Названіе проводниковъ.	Удѣльное сопротивленіе. (Hg=1).	Удѣльная проводимость. (Hg=1).
Ртуть	1	1
Алюминій	0,027	37

Свинецъ	0,2083	4,8
Желѣзо	0,1034	9,7
Золото	0,02183	46
Мѣдь	0,01754	57
» (очищенная) .	0,0162	61,8
Никкель	0,1319	7,6
Платина	0,06944	14,4
Серебро	0,01597	63
Цинкъ	0,0599	16,7

Для практическаго примѣненія въ слѣдующей таблицѣ даны еще удѣльное сопротивленіе и удѣльная проводимость нѣкоторыхъ углей и металлическихъ сплавовъ.

Названіе проводниковъ.	Удѣльное сопротивленіе. (Hg = 1).	Удѣльная проводимость. (Hg = 1).
Графитъ.	12,01	0,0828
Каменный уголь . . .	67,6	0,015
Нейзильберъ	0,3184	3,1
Латунь	0,1 до 0,07	10 до 14
Никкелинъ	0,455 до 0,555	2,2 до 1,8
Патентованный никкель .	0,364	2,8
Константанъ	0,53	1,90
Манганинъ	0,498	2,0

Чѣмъ больше удѣльная проводимость вещества, тѣмъ оно лучше проводитъ гальваническій токъ. Изъ этихъ чиселъ видно, что серебро проводитъ токъ лучше всего, а тотчасъ за нимъ слѣдуетъ мѣдь. Графитъ и каменный уголь проводятъ въ семьсотъ и въ три тысячи разъ хуже, чѣмъ мѣдь, и все же они еще вполнѣ хорошіе проводники электричества. Хорошая проводимость мѣди служитъ причиною того, что для проводки электрическихъ токовъ въ большинствѣ случаевъ пользуются мѣдными проволоками. Впрочемъ, для длинныхъ проводовъ, вродѣ телеграфныхъ, мѣдь слишкомъ дорога, и потому ихъ обслуживаютъ желѣзныя и бронзовыя проволоки, стоимость которыхъ значительно ниже, а проводимость составляетъ приблизительно лишь шестую часть проводимости мѣди.

Такъ какъ одинъ омъ равенъ сопротивленію ртутнаго столба въ 106,3 м. длиною и 1 кв. мм. поперечнаго сѣченія, то изъ вышеприведенныхъ чиселъ мы можемъ вывести,

какъ велико (въ омахъ) сопротивленіе любой проволоки въ 1 метръ длиною и 1 кв. миллиметръ поперечнаго сѣченія. Такой именно ртутный столбъ имѣетъ сопротивленіе въ $\frac{1}{1,063} = 0,9437$ ома. Для всякаго другого вещества сопротивленіе проволоки въ 1 м. длиною и 1 кв. мм. поперечнаго сѣченія мы получимъ, помножая это число на соотвѣтствующее удѣльное сопротивленіе (отнесенное ко ртути). Эти числа, округленныя въ простыя дроби, приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ, благодаря чему можно съ нѣкоторымъ приближеніемъ быстро опредѣлить сопротивленіе любой проволоки.

Сопротивленіе (въ омахъ) проволоки въ 1 м. длиною и 1 кв. мм. поперечнаго сѣченія:

Названіе.	Сопротивленіе въ омахъ.	Названіе.	Сопротивленіе въ омахъ.
Алюминій .	$\frac{1}{39}$	Серебро	$\frac{1}{66}$
Свинецъ . .	$\frac{1}{5}$	Цинкъ	$\frac{1}{18}$
Желѣзо . .	$\frac{1}{12}$	Нейзильберъ. . . .	$\frac{1}{4}$
Золото . .	$\frac{1}{42}$	Латунь	$\frac{1}{21}$
Мѣдь . . .	$\frac{1}{61}$	Никкелинъ	$\frac{1}{2}$
Никкель . .	$\frac{1}{9}$	Манганинъ	$\frac{1}{2}$
Платина . .	$\frac{1}{16}$	Графитъ	$11\frac{1}{2}$

Изъ таблицы этой можно, напр., легко вычислить, что мѣдная проволока въ 465 см. длиною и въ $\frac{1}{2}$ кв. мм. поперечнаго сѣченія имѣетъ сопротивленіе, равное $\frac{4,65}{\frac{1}{2}} \frac{1}{61} = 0,155$ ома.

Жидкости, которыя, вообще говоря, проводятъ электрическій токъ, имѣютъ (кромѣ ртути) гораздо большее удѣльное сопротивленіе, чѣмъ металлы. Проводимость ихъ весьма мала. Большинство изслѣдованныхъ жидкостей представляютъ собою растворы солей и кислотъ въ водѣ. Удѣльная проводимость ихъ зависитъ отъ ихъ концентраціи: у раствора, содержащаго 5 проц. мѣднаго купороса, она иная, чѣмъ у раствора въ 10 проц. Слѣдующія числа даютъ удѣльную проводимость, отнесенную, какъ къ единицѣ, ко ртути.

Названіе жидкости.	Удѣльная проводимость. (Hg = 1).
30,4-процентный растворъ сѣрной кислоты . .	0,0000691
17,3-процентный растворъ горькой соли	0,0000046
23,7-процентный растворъ цинковаго купороса.	0,0000045
Насыщенный растворъ мѣднаго купороса . . .	0,0000039
16,6-процентный растворъ уксусной кислоты .	0,00000015

Вполнѣ чистая вода почти вовсе не проводитъ электрическаго тока, и потому, слѣдовательно, она—почти совершенный изоляторъ. Но достаточно уже самыхъ ничтожныхъ примѣсей посторонних веществъ, чтобы сдѣлать воду достаточно хорошимъ проводникомъ.

Существенное различіе между металлами и жидкоссями заключается въ томъ, что у металловъ съ повышеніемъ температуры сопротивленіе растетъ, а у жидкостей, напротивъ того, уменьшается. Уголь въ этомъ отношеніи аналогиченъ жидкостямъ. При высокихъ температурахъ его сопротивленіе меньше, чѣмъ при низкихъ.

Если два проводника помѣщаются рядомъ, и токъ долженъ пройти между ними, то необходимо, чтобы соединеніе обоихъ проводниковъ было очень хорошимъ, такъ какъ, въ противномъ случаѣ, въ мѣстѣ раздѣла токъ встрѣчаетъ весьма большое сопротивленіе. Лучше всего поэтому спаять металлы другъ съ другомъ. Обыкновенно концы двухъ проволокъ плотно зажимаютъ винтами, благодаря чему ихъ соприкосновеніе становится вполнѣ совершеннымъ. Особенное вниманіе на это надо обратить въ случаѣ угля, такъ какъ плохое соприкосновеніе двухъ углей повышаетъ сопротивленіе. Совершенно ничтожное надавливаніе на мѣсто соприкосновенія двухъ углей при переходѣ электричества съ одного изъ нихъ на другой весьма значительно уменьшаетъ сопротивленіе. Въ микрофонѣ, о которомъ мы будемъ говорить въ слѣдующей главѣ, пользуются этимъ для одного крупнаго примѣненія.

Теперь мы уже въ состояніи взяться за одно важное слѣдствіе относительно сопротивленія гальваническихъ или термоэлектрическихъ элементовъ. Сопротивленіе самого токовозбудителя называется внутреннимъ сопротивленіемъ.

Если имѣется рядъ гальваническихъ элементовъ, напр., 8 даніелей, то ихъ можно соединять прежде всего такъ, какъ показано на рис. 22.

При этомъ расположеніи цинкъ одного элемента соединяется съ мѣдью другого. Внутреннее сопротивленіе всей этой цѣпи, конечно, въ восемь разъ болѣе, чѣмъ каждаго отдѣльнаго элемента, такъ какъ токъ при одномъ и томъ же поперечномъ сѣченіи жидкости долженъ пробѣжать въ восемъ разъ бо́льшую длину ея. Говорится, что въ тако- цѣпи элементы соединены послѣдовательно.

Но рядъ элементовъ можно соединить еще и иначе, а

именно такъ, чтобы были соединены между собою всѣ мѣдныя пластинки и всѣ цинковыя. Такое расположеніе представлено на рис. 23. Въ этомъ случаѣ говорятъ, что элементы соединены параллельно. Здѣсь дѣло обстоитъ совсѣмъ иначе. Всѣ мѣдные цилиндры образуютъ вмѣстѣ большую мѣдную массу, а всѣ цинковые—большую цинковую, противостоящую мѣдной. Если представить себѣ, что всѣ жидкости и металлы погру-

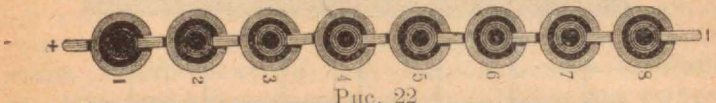


Рис. 22

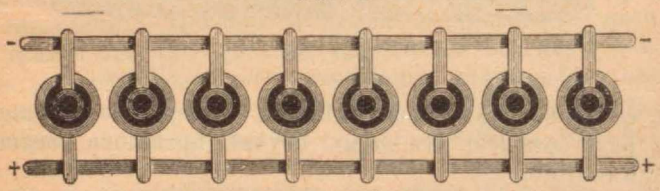


Рис. 23

жены въ одинъ сосудъ, то поперечное сѣченіе жидкостей, черезъ которое протекаетъ токъ, сдѣлается теперь въ восемь разъ больше, чѣмъ было при одномъ даніелѣ, такъ какъ токъ протекаетъ отъ + шины къ—шинѣ черезъ всѣ параллельно включенные элементы одновременно. Сопротивленіе всей батареи составляетъ, слѣдовательно, только восьмую часть сопротивленія каждаго отдѣльнаго элемента.

Итакъ, параллельное включеніе элементовъ уменьшаетъ внутреннее сопротивленіе, а послѣдовательное увеличиваетъ.

Это имѣетъ значеніе вообще для сопротивленія всякаго рода.

Если, напр., у насъ есть 7 проволокъ, одинаковаго сопротивленія каждая, и мы соединяемъ ихъ, какъ на рис. 24, то

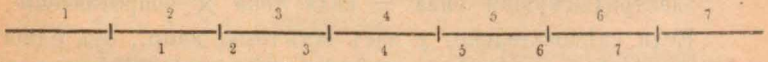


Рис. 24

сопротивленіе всѣхъ этихъ взятыхъ вмѣстѣ проволокъ въ семь разъ больше каждой отдѣльной, такъ какъ проволока имѣетъ

теперь въ семь разъ бо́льшую длину. Въ этомъ случаѣ проволоки соединены послѣдовательно.

Если же мы соединимъ ихъ, какъ на рис. 25, то сопротивленіе, представляемое току всѣми 7 проволоками, составитъ только $^1/_7$ часть сопротивленія каждой изъ нихъ, отдѣльно взятой. Вѣдь всѣ 7 взятыхъ вмѣстѣ проволоки можно предста-

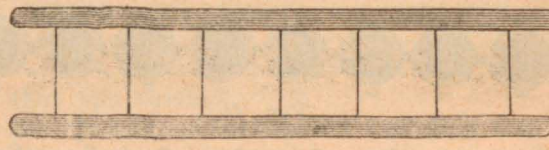


Рис. 25

вить себѣ въ видѣ одной, имѣющей поперечное сѣченіе, въ семь разъ большее. Въ этомъ случаѣ проволоки соединены параллельно.

Если мы соединимъ рядъ элементовъ, какъ на рис. 26, гдѣ по два элемента соединено послѣдовательно, а четыре такихъ комбинаціи—параллельно, то сопротивленіе этой батареи составитъ только $^2/_4 = {}^1/_2$ каждаго отдѣльнаго элемента.

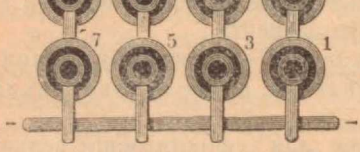


Рис. 26.

Кромѣ силы тока и сопротивленія, намъ надо разсмотрѣть еще третью величину, а именно электродвижущую силу.

Законъ Ома даетъ намъ возможность сравнивать между собою электродвижущія силы токовозбудителей и даже выражать ихъ въ нѣкоторой опредѣленной единицѣ. Въ самомъ дѣлѣ, по этому закону:

электродвижущая сила = сила тока × сопротивленіе.

Если, слѣдовательно, у насъ есть токъ, напр., отъ одного бунзеновскаго элемента, и, измѣривъ силу тока амперметромъ, мы опредѣлимъ въ омахъ (измѣреніемъ или вычисленіемъ) общее сопротивленіе (самого элемента и внѣшнихъ соединительныхъ проволокъ), то тотчасъ же получимъ и электродвижущую силу. При этомъ, если сила тока дана въ амперахъ, а сопро-

тивленіе—въ омахъ, то электродвижущая сила выражается уже въ нѣкоторой опредѣленной единицѣ, называемой 1 вольтомъ. Поэтому всегда имѣются слѣдующія равенства:

$$1 \text{ вольтъ} = 1 \text{ амперъ} \times 1 \text{ омъ}.$$

$$\text{или } 1 \text{ амперъ} = \frac{1 \text{ вольтъ}}{1 \text{ омъ}}, \quad 1 \text{ омъ} = \frac{1 \text{ вольтъ}}{1 \text{ амперъ}}$$

Если мы найдемъ, что въ общемъ сопротивленіи въ 6,3 ома одинъ бунзеновскій элементъ возбуждаетъ токъ силою въ 0,3 ампера, то отсюда слѣдуетъ, что электродвижущая сила элемента равна 1,9 вольта ($0{,}3 \times 6{,}3$). Измѣряя этимъ способомъ электродвижущія силы гальваническихъ элементовъ, находятъ, что она зависитъ единственно только отъ природы составляющихъ элементъ металловъ и жидкостей, нисколько не завися отъ ихъ величины Большой и маленькій даніелевскіе элементы обладаютъ совершенно одинаковыми электродвижущими силами (внутреннее же сопротивленіе обоихъ ихъ различно). Отсюда прежде всего слѣдуетъ, что батарея, состоящая изъ любого числа параллельно, какъ на рис. 23, включенныхъ гальваническихъ элементовъ, обладаетъ такою же электродвижущей силой, какъ и каждый отдѣльный элементъ. Вѣдь всѣ мѣдные полюсы соединены между собою и образуютъ одну большую мѣдную массу, а всѣ цинки, соединяясь вмѣстѣ, даютъ одну большую цинковую массу. А такъ какъ величина цинка и мѣди не играетъ роли, то такая батарея и имѣетъ, слѣдовательно, лишь такую электродвижущую силу, какъ каждый отдѣльный элементъ (внутреннее же ея сопротивленіе будетъ, какъ мы видѣли, гораздо меньше). При одинаковомъ общемъ сопротивленіи она возбуждаетъ, слѣдовательно, такой же токъ, какъ и одинъ элементъ. Если же мы, напротивъ того, имѣемъ батарею изъ восьми послѣдовательно, какъ на рис. 22, соединенныхъ элементовъ, то ихъ элетродвижущая сила будетъ въ восемь разъ больше электродвижущей силы каждаго отдѣльнаго элемента.

Найденныя при помощи такого рода измѣреній электродвижущія силы элементовъ, о которыхъ говорилось выше (стр. 14 и т. д.), слѣдующія:

Даніель	1,08—1,12 вольта.
Мейдингеръ.	0,95—1 »
Бунзенъ	1,9 »
Лекланше	1,49
Сухой элементъ Геллезена .	1,5

Гос. ордена Ленина БИБЛИОТЕКА СССР им. В. И. ЛЕНИНА

Внутреннее сопротивленіе гальваническихъ элементовъ зависитъ, конечно, отъ величины ихъ, отъ свойства пористыхъ сосудовъ и т. д. Поэтому для внутренняго сопротивленія обыкновенно употребляющихся элементовъ можно дать лишь приблизительныя числа. Бунзеновскій элементъ такой величины, какою обыкновенно пользуются (въ 32 см. высотою), имѣетъ только около 0,2 ома сопротивленія; обыкновенный даніель около 0,6 ома; элементъ Мейдингера, въ зависимости отъ величины, отъ 4 до 10 омовъ; Лекланше—приблизительно 0,3 ома, а сопротивленіе сухого элемента Геллезена составляетъ около 0,1 ома.

Отсюда слѣдуетъ, что, напр., 10 даніелевскихъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно, имѣютъ электродвижущую силу въ 10,8 вольта и внутреннее сопротивленіе въ 6 омовъ. Если внѣшняя проволока, которою батарея замыкается, имѣетъ неизмѣримо малое сопротивленіе, то сила тока, несмотря даже на это, будетъ равна всего лишь

$$\frac{10{,}8}{6} \cdot \frac{\text{вольтъ}}{\text{омъ}} = 1{,}8 \text{ ампера.}$$

Если же мы 10 элементовъ включимъ, напротивъ того, параллельно, то ихъ электродвижущая сила будетъ равняться только 1,08 вольта, а внутреннее сопротивленіе—0,06 ома; слѣдовательно, при ничтожно-маломъ внѣшнемъ сопротивленіи (при такъ называемомъ короткомъ замыканіи) сила тока будетъ:

$$\frac{1{,}08}{0{,}06} \cdot \frac{\text{вольтъ}}{\text{омъ}} = 18 \text{ амперовъ.}$$

Итакъ, здѣсь сила тока гораздо больше, чѣмъ въ первомъ случаѣ, но это справедливо только для очень малыхъ внѣшнихъ сопротивленій. Въ проволокѣ же въ 10 омовъ сопротивленія, напротивъ того, первая комбинація доставила бы токъ въ

$$\frac{10{,}8}{16} = 0{,}675 \text{ ампера,}$$

а вторая

$$\frac{1{,}08}{10{,}06} = 0{,}108 \text{ ампера,}$$

и, слѣдовательно, первая дала бы гораздо болѣе сильный токъ, чѣмъ вторая.

Въ термоэлектрическихъ элементахъ также, какъ и въ гальваническихъ, электродвижущая сила зависитъ только отъ природы, но отнюдь не отъ величины обоихъ спаянныхъ

другъ съ другомъ металловъ. Кромѣ того, она существенно зависитъ и отъ разности температуръ обоихъ мѣстъ спая: она тѣмъ больше чѣмъ больше эта разность. Впрочемъ, это имѣетъ мѣсто не при всѣхъ температурахъ. Структура металловъ при болѣе высокихъ температурахъ часто становится другою, а потому измѣняется и электродвижущая сила: вмѣсто увеличенія, она въ этомъ случаѣ уменьшается.

Электродвижущія силы всѣхъ металлическихъ термоэлементовъ обыкновенно представляютъ собою лишь малыя доли вольта. Мы будемъ ихъ выражать въ милливольтахъ, т. е. въ тысячныхъ доляхъ вольта. Ниже приведены комбинаціи нѣсколькихъ металловъ со ртутью и соотвѣтствующія имъ электродвижущія силы. При этомъ знакъ + указываетъ на то, что токъ проходитъ черезъ нагрѣтое мѣсто спая отъ ртути къ другому металлу, а знакъ —, что онъ идетъ отъ этого послѣдняго ко ртути, опять таки черезъ нагрѣтое мѣсто спая.

Электродвижущая сила въ милливольтахъ (между 0° и 100°):

Ртуть-висмутъ	— 6,70
» -никкель	— 1,66
» -кобальтъ.	— 1,53
» -нейзильберъ	— 1,08
» -платина	+ 0,004 до + 0,59
» -алюминій	+ 0,36
» -олово	+ 0,39
» -магній.	+ 0,39
» -свинецъ	+ 0,40
» -латунь	+ 0,44
» -мѣдь (чистая) . . .	+ 0,72
» -серебро	+ 0,70
» -золото	+ 0,71
» -цинкъ	+ 0,69 до 0,73
» -уголь	+ 0,66 до 1,45
» -кадмій.	+ 0,87
» -желѣзо	+ 1,60 до 1,73
» -сурьма	+ 3,38

Къ термоэлектрическимъ силамъ можетъ быть примѣненъ законъ ряда напряженій, выражающійся слѣдующимъ образомъ: если A, B, C суть три любыхъ металла, а электродвижущія

силы между какими нибудь металлами A и B означаются символомъ $A \mid B$, то

$$A \mid C + C \mid B = A \mid B$$

Съ помощью этого закона изъ вышеприведенныхъ чиселъ можно вычислить электродвижущую силу для любыхъ двухъ металловъ. По нему:

$$A \mid \text{ртуть} + \text{ртуть} \mid B = A \mid B$$

Если мы возьмемъ въ качествѣ металла A нейзильберъ, а B—желѣзо, то

нейзильберъ | желѣзо =
=нейзильберъ | ртуть + ртуть | желѣзо =
=+ 1,08 + 1,60 = + 2,68 милливольтъ.

Знакъ + говоритъ то томъ, что токъ идетъ черезъ нагрѣтое мѣсто спая отъ нейзильбера къ желѣзу.

Комбинація висмутъ | мѣдь имѣетъ электродвижущую силу въ 7,42 милливольта, а желѣзо | платина около 1,9 милливольта, какъ это можно вычислить по тому же способу.

Всѣ эти электродвижущія силы очень малы. Поэтому, чтобы получить относительно высокія электродвижущія силы и вмѣстѣ съ тѣмъ сильные токи, надо термоэлектрическіе элементы соединять, какъ и гальваническіе, по нѣскольку послѣдовательно и нагрѣвать одинаково-расположенныя мѣста ихъ спаевъ. Такимъ образомъ и получаются, какъ это было уже указано на стр. 20, термоэлектрическіе столбики.

Весь вопросъ сводится, значитъ, къ тому, чтобы строить термоэлектрическіе столбики значительнаго дѣйствія, т. е. такіе, которые соединяютъ высокую электродвижущую силу съ ничтожнымъ внутреннимъ сопротивленіемъ и притомъ удобны для пользованія ими. Они нагрѣваются газомъ или углемъ, благодаря чему представляютъ собою удобные токовозбудители относительно значительнаго дѣйствія. Впрочемъ, для большихъ потребленій тока проблема эта не рѣшена до сихъ поръ даже и приблизительно. Гюльхеръ сконструировалъ для лабораторныхъ цѣлей удобный и портативный термоэлектрическій столбъ, нагрѣвающійся газомъ и дающій электродвижущую силу въ 4 вольта. Столбъ этотъ представленъ на рис. 27. Онъ состоитъ изъ 66 послѣдовательно-соединенныхъ элементовъ, составленныхъ изъ никкеля и одного сплава съ сурьмою. Никкель употребленъ въ видѣ трубокъ, служащихъ для проведенія газа и стоящихъ на плоскости внутри прибора. Къ верхнему концу ка-

ждой изъ такихъ трубокъ припаяно соединеніе, входящее сверху въ гильзу, въ которую влитъ сплавъ, содержащій сурьму. Сурьмяныя соединенія эти согнуты углами, къ концамъ которыхъ припаяны длинныя мѣдныя полоски, служащія для охлажденія и соединенія элементовъ. Видимыя на рисункѣ отверстія и суть концы никкелевыхъ трубокъ. Приборъ устроенъ такимъ образомъ, что столбъ нагрѣвается постоянно, даже при измѣненіи давленія газа. Внутреннее сопротивленіе этого столба составляетъ 0,65 ома, а электродвижущая его сила, какъ было сказано, 4 вольта. Онъ производитъ то же, что дѣлаютъ и 2

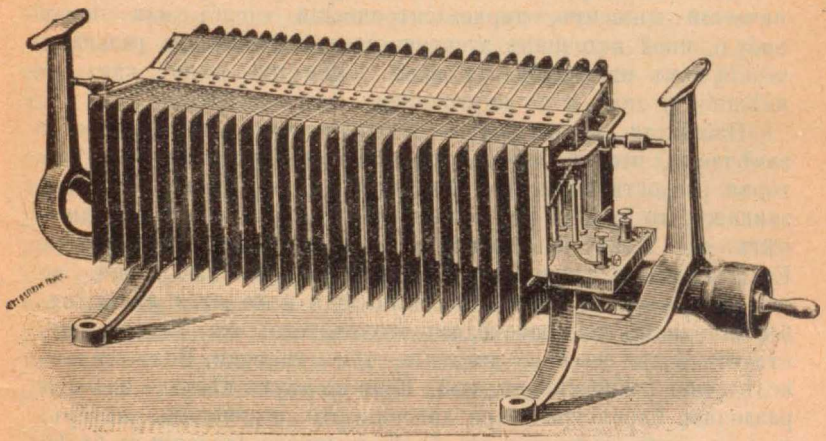


Рис. 27

бунзеновскихъ элемента, но всегда готовъ къ употребленію при помощи зажиганія газа, котораго требуетъ относительно немного (170 литровъ въ часъ).

Въ термоэлектрическихъ элементахъ происходитъ непосредственное обращеніе теплоты въ электричество. Къ одному изъ мѣстъ спая приводится теплота, которая и возбуждаетъ электрическій токъ. Такъ какъ теплота представляетъ собою въ природѣ одинъ изъ самыхъ могучихъ дѣятелей, и такъ какъ она доставляетъ энергію для самыхъ большихъ нашихъ машинъ, то можно было бы думать, что обращеніемъ теплоты въ электричество достигаются весьма значительныя электрическія дѣйствія. Но до сихъ поръ далеко не такъ обстоитъ

дѣло въ дѣйствительности. Электродвижущая сила термоэлектрическихъ элементовъ очень незначительна, и даже съ помощью комбинаціи цѣлаго ряда ихъ получаются дѣйствія, все еще относительно ничтожныя. Весьма важная проблема о непосредственномъ, безъ большихъ потерь, обращеніи теплоты въ электричество,—та проблема, которая имѣла бы громаднѣйшее значеніе не только въ научномъ, но и въ практическомъ смыслѣ,—до сихъ поръ еще не рѣшена, и, кажется, даже можно ставить вопросъ о томъ, не противорѣчитъ ли нѣсколько эта задача сущности теплоты и электричества.

Электродвижущая сила токовозбудителя—будь то гальваническій элементъ, термоэлектрическій столбъ или какой нибудь иной источникъ электричества—заставляетъ гальваническій токъ проходить по всей замкнутой цѣпи, какъ по внѣшнему, такъ и по внутреннему сопротивленіямъ.

Наблюдая какое нибудь движущееся тѣло, мы всегда замѣчаемъ, что на обѣихъ сторонахъ его существуетъ нѣкоторая разность силы или давленія. Если лошадь движетъ экипажъ, то передъ нимъ имѣется сила тяги, а позади—нѣтъ ея. Вслѣдствіе разности тяги экипажъ и движется. Еслибы его и сзади тянула лошадь съ такой же силой, то онъ оставался бы въ покоѣ. Если вода находится въ состояніи истеченія, то происходитъ это отъ того, что сзади существуетъ болѣе высокое давленіе, чѣмъ спереди. Вода течетъ вслѣдствіе разности давленій. Если въ двухъ мѣстахъ имѣется различное барометрическое давленіе, то возникаетъ вѣтеръ, т. е. воздухъ движется отъ болѣе высокаго давленія къ болѣе низкому. Совершенно также и здѣсь, при электрическомъ токѣ, мы должны принять существованіе разности тягъ или давленій въ двухъ мѣстахъ: въ томъ, откуда токъ выходитъ, и въ томъ, куда онъ входитъ. Такъ какъ мы не знаемъ въ точности, существуетъ ли здѣсь разность тягъ или давленій, какъ въ водѣ или воздухѣ, то и употребляемъ нейтральное слово, а именно разность напряженій или, короче, напряженіе.

Если, слѣдовательно, въ элементѣ Даніеля токъ протекаетъ во внѣшней цѣпи отъ мѣди къ цинку, то мы должны утверждать, что мѣдный и цинковый полюсы обладаютъ нѣкоторою разностью напряженій. Эта разность напряженій и заставляетъ токъ протекать по внѣшней цѣпи, а по закону Ома она равна силѣ тока, помноженной на сопротивленіе

внѣшней цѣпи. Эта разность напряженій невполнѣ одинакова съ электродвижущей силой, такъ какъ она гонитъ токъ лишь по внѣшней цѣпи, тогда какъ та заставляетъ его протекать и по внѣшней, и по внутренней.

Для всякаго отдѣльнаго мѣста цѣпи тока, для каждаго куска проволоки разность напряженій на концахъ равна произведенію изъ сопротивленія на силу тока. Цѣлесообразно будетъ выразиться такъ: при прохожденіи тока черезъ кусокъ проволоки онъ теряетъ нѣчто въ напряженіи, *испытываетъ нѣкоторую потерю напряженія*, которая равна силѣ тока, помноженной на сопротивленіе куска проволоки. Слѣдовательно, преодолѣніе токомъ всякаго сопротивленія связано съ нѣкоторой опредѣленной потерей напряженія, которая тѣмъ больше, чѣмъ больше пройденное сопротивленіе.

Отсюда сейчасъ же слѣдуетъ, что разность напряженій на полюсахъ *замкнутаго* элемента невполнѣ равна электродвижущей силѣ этого элемента. Прежде чѣмъ достигнуть полюсовъ, токъ долженъ былъ уже преодолѣть гораздо большее внутреннее сопротивленіе элемента. Поэтому напряженіе на полюсахъ (называемое часто *напряженіемъ на зажимахъ*) въ замкнутомъ элементѣ меньше, чѣмъ электродвижущая сила послѣдняго; оно меньше ея на величину потери напряженія внутри элемента, т. е. на произведеніе силы тока на внутреннее сопротивленіе.

Все время до сихъ поръ мы разсматривали простую замкнутую цѣпь, по которой протекаетъ токъ.

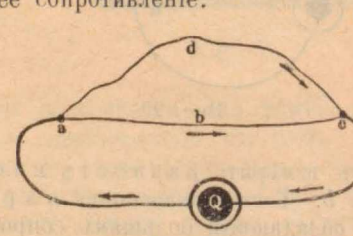


Рис 28.

Для изслѣдованій же и примѣненій электричества часто пользуются болѣе общимъ случаемъ. Именно токъ заставляютъ проходить по развѣтвленному проводнику, какъ это представлено въ самой простой формѣ на рис. 28. Здѣсь электрическій токъ распространяется изъ элемента Q въ направленіи стрѣлки, сперва течетъ, какъ обыкновенно, до a, а затѣмъ развѣтвляется и протекаетъ въ направленіи стрѣлокъ черезъ b и d, до тѣхъ поръ, пока не приходитъ къ c. Тамъ обѣ вѣтви тока снова соединяются, и онъ идетъ къ элементу,

какъ и раньше. Въ такихъ случаяхъ говорятъ, что существуетъ развѣтвленіе тока.

Въ то время, какъ въ неразвѣтвленной цѣпи сила тока повсюду одна и таже, здѣсь это уже не наблюдается, и въ различныхъ вѣтвяхъ цѣпи находятся различныя силы тока.

Сила тока въ вѣтви *cQa* иная, чѣмъ въ *abc*, какъ въ этомъ можно убѣдиться, поставивъ въ каждую изъ трехъ вѣтвей по амперметру.

На обѣ проволоки *abc* и *adc*, согласно нашему прежнему обозначенію (стр. 40), мы должны смотрѣть, какъ на соединенныя между собою параллельно. Токъ одновременно протекаетъ черезъ обѣ ихъ, и тотчасъ видно, что если сопротивленіе *adc* въ 10 разъ больше сопротивленія *abc*, то и сила тока въ *adc* будетъ составлять лишь десятую часть его силы въ *abc*, между тѣмъ какъ въ неразвѣтвленной части цѣпи *cQa* должна быть сила, равная суммѣ силъ токовъ въ обоихъ вѣтвяхъ.

Подобное развѣтвленіе тока даетъ чрезвычайно простой способъ измѣренія разности напряженій въ двухъ мѣстахъ цѣпи, къ которымъ для этого надо только приложить концы параллельнаго отвѣтвленія, включивъ въ него для удобнаго производства измѣренія амперметръ. Пусть, какъ на рис. 29, будетъ гальваническій элементъ, который гонитъ черезъ свою цѣпь токъ, и пусть хотятъ измѣрить разность напряженій въ двухъ мѣстахъ *a* и *b*. Тогда включаютъ параллельно *ab* амперметръ *G*, обладающій большимъ сопротивленіемъ, около 100 омовъ. Подъ вліяніемъ напряженій въ *a* и *b*, черезъ *ab*, равно какъ и черезъ *G*, проходитъ токъ; искомая разность напряженій (въ вольтахъ) равна показанной амперметромъ силѣ тока, помноженной на сопротивленіе (здѣсь 100). Слѣдовательно, отсчетъ амперметра, взятый 100 разъ, и будетъ равенъ числу вольтъ, имѣющихся между *a* и *b*.

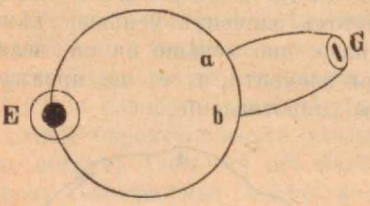


Рис. 29

Конечно, если амперметръ употребляется для отвѣтвленій, то онъ устраивается такъ, что его шкала дѣлится на вольты.

Въ такихъ случаяхъ онъ называется вольтметромъ. Итакъ, вольтметръ есть амперметръ высокаго сопротивленія (для небольшого потребленія тока), включаемый въ отвѣтвленіе къ тѣмъ точкамъ цѣпи, въ которыхъ желательно измѣрить разность напряженій. Рис. 30 даетъ изображеніе вольтметра Всеобщей Компаніи Электричества въ Берлинѣ. Онъ устроенъ также, какъ и описанный на стр. 31 амперметръ.

Если токъ изъ своего источника проходитъ черезъ какіе

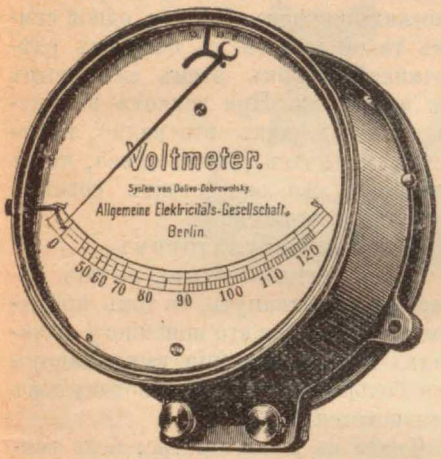


Рис. 30

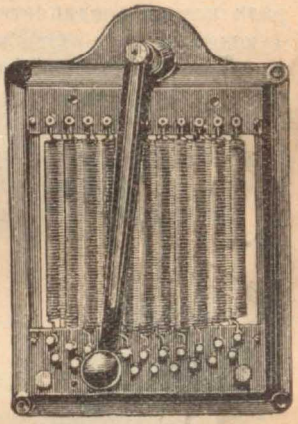


Рис. 31

либо приборы, причемъ въ цѣпь включается для измѣренія силы тока амперметръ, и если одновременно съ нимъ къ полюсамъ источника приключенъ въ отвѣтвленіи вольтметръ, измѣряющій на концахъ внѣшней цѣпи напряженіе на зажимахъ, то можно тотчасъ же узнать, какъ велико сопротивленіе внѣшней цѣпи въ омахъ, такъ какъ

$$\text{число омовъ} = \frac{\text{число вольтъ}}{\text{число амперъ}}$$

Чтобы легко привести силу протекающаго по цѣпи тока къ величинѣ, необходимой для желаемой цѣли, пользуются простымъ средствомъ, состоящимъ въ томъ, что, кромѣ надлежащихъ приборовъ, въ цѣпь включаютъ проволоки, сопроти-

вленіе которыхъ можно мѣнять по желанію. Подобныя такъ называемыя балластныя сопротивленія, употребляющіяся для болѣе или менѣе значительныхъ силъ тока, устроены такъ, какъ это видно изъ рис. 31.

На рамѣ укрѣпленъ рядъ константановыхъ или нейзильберовыхъ спиралей. Начало и конецъ каждой изъ нихъ идетъ къ ряду металлическихъ кнопокъ, по которымъ передвигается за ручку металлическій рычагъ. На металлической рамѣ приспособлены два изолированныхъ зажимныхъ винта, изъ которыхъ лѣвый соединенъ съ вращающимся рычагомъ, а правый—съ послѣдней изъ металлическихъ кнопокъ. Конецъ одной спирали всегда соединяется въ такой кнопкѣ съ началомъ слѣдующей за ней. Отъ источника тока къ этимъ зажимнымъ винтамъ ведутъ проводящія проволоки. При всякомъ положеніи вращающагося рычага въ цѣпь, какъ это видно, включается иное сопротивленіе. Если рычагъ стоитъ слѣва, то въ токъ включены всѣ спирали; если же онъ стоитъ совсѣмъ справа, то не включена ни одна изъ нихъ.

Такой приборъ называютъ также регуляторомъ.

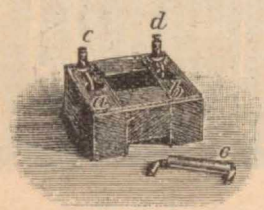


Рис. 32

Если, слѣдовательно, рычагъ совершенно выдвинуть, то токъ прерывается; если же его понемногу вдвигать, то сопротивленія выключаются все больше и больше, а потому токъ усиливается.

Чтобы въ цѣпи быстро, безъ всякой болѣе или менѣе продолжительной процедуры, прервать токъ, его прерываютъ только въ одномъ мѣстѣ провода. Для этого пользуются простыми приспособленіями. Простѣйшій прерыватель состоитъ, какъ это видно на рис. 32, изъ небольшой деревянной или парафиновой скамеечки, въ которой продѣланы два углубленія (*a* и *b*), наполненныя ртутью. Въ ртутныя чашечки погружены проволоки, соединенныя съ зажимными винтами *c* и *d*. Въ чашечки эти можно погружать или вынимать изъ нихъ концы мѣдной дужки *e*, окруженной резиновою трубочкою. Если мы къ *c* подведемъ проводъ отъ одного полюса источника тока, а къ *d*—отъ другого, то при вставленіи дужки токъ замыкается, при вынманіи—размыкается. Подобнымъ прерывателемъ мы пользовались уже на рис. 14, изображенномъ на стр. 21.

Въ другихъ случаяхъ, а именно при примѣненіи электричества на практикѣ, пользуются выключателями такого вида, какой показанъ на рис. 33. Они состоятъ изъ придѣланной къ грифу металлической полоски, которая при поворачиваніи грифа или налагается на двѣ пружинящія металлическія проволоки, изъ коихъ одна видна на рисункѣ, или же находится безъ всякаго прикосновенія на воздухѣ. Пружинки представляютъ собою два конца проводовъ. Вращеніемъ грифа, слѣдовательно, производятъ попеременно то контактъ, то пре-

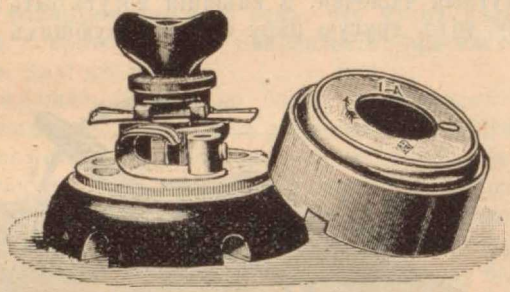


Рис. 33

рываніе. Все приспособленіе находится въ деревянной, фарфоровой или металлической полости, которую, конечно, надо выдѣлать съ особенною тщательностью.

Одинъ изъ двухъ проводовъ, ведущихъ отъ полюсовъ источника тока (въ которые можно включать любые приборы), идетъ къ этому выключателю такимъ образомъ, что соединяется съ одной изъ пружинящихъ металлическихъ полосокъ, а отъ второй полоски идетъ другая проволока дальше, къ другому полюсу источника. Поэтому однимъ поворачиваніемъ грифа можно моментально замкнуть токъ; если же проводъ достаточно длиненъ, то это можно сдѣлать на любомъ разстояніи.

То обстоятельство, что электрическіе токи можно включать и размыкать на любомъ разстояніи, и дѣлаетъ примѣненіе электричества особенно удобнымъ.

Часто затѣмъ бываетъ нужно вдругъ измѣнить въ приборѣ направленіе тока. Для этого строятъ аппараты, позволяющіе произвести подобное измѣненіе однимъ движеніемъ; они называются коммутаторами или переключателями. Простѣй-

шимъ и наиболѣе для этихъ цѣлей употребляющимся аппаратомъ является изображенный на рис. 34 коммутаторъ Поля. Онъ состоитъ изъ деревянной или парафиновой подставки, на которой находятся шесть чашечекъ, наполненныхъ ртутью. Внѣшнія изъ нихъ, стоящія наискось другъ противъ друга, соединены между собою проволоками *h* и *i*. Въ эти чашечки погружается движущаяся дужка, состоящая изъ стекляннаго стержня *q* съ двумя прикрѣпленными къ ней металлическими треножниками. Среднія ножки погружаются въ среднія ртутныя чашечки, а внѣшнія могутъ быть погружены то въ одну, то въ другую пару соотвѣтствующихъ чашечекъ.

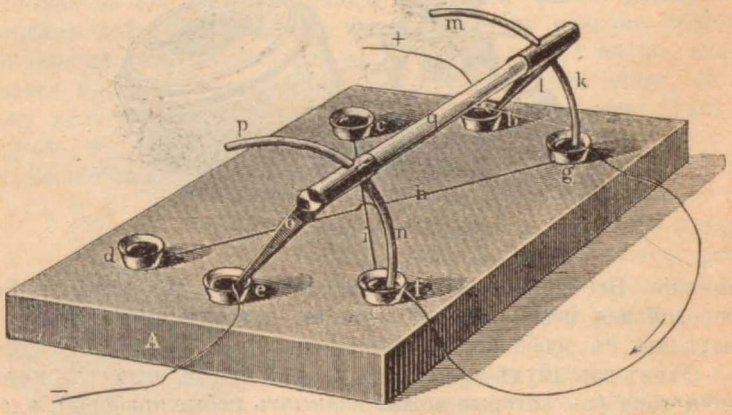


Рис. 34

Пусть, напр., надо измѣнить направленіе тока въ проволокѣ *r* (въ которую включенъ хотя бы гальваноскопъ). Къ двумъ металлическимъ чашечкамъ *b* и *e* подводятъ проволочные провода отъ элемента такимъ образомъ, что *b* все время соединенъ съ положительнымъ полюсомъ, а *e*—съ отрицательнымъ; концы же проволоки *r* погружены въ ртутныя чашечки *f* и *g*. Въ этомъ случаѣ ясно, что при представленномъ на рисункѣ положеніи дужки токъ идетъ отъ положительнаго полюса элемента къ *b*, черезъ металлическій треножникъ къ *g*, черезъ проволоку *r*, въ направленіи стрѣлки, къ *f*, черезъ тотъ же треножникъ къ *e* и оттуда къ отрицательному полюсу элемента. Если же дугу *g* переставить, то

токъ пойдетъ иначе: отъ положительнаго полюса элемента къ b, черезъ ножку къ c, черезъ проволоку i къ f, черезъ проволоку r, обратно направленію стрѣлки, къ g, черезъ проволоку h къ d, черезъ металлическую ножку къ e и оттуда къ отрицательному полюсу элемента.

Итакъ, однимъ только перекладываніемъ дуги полюсы элемента соединяются съ проволокою r, одинъ разъ непосредственно, другой—черезъ перекрещивающіяся проволоки; дѣйствіе этого обнаруживается въ томъ, что одинъ разъ токъ въ проволокѣ r протекаетъ въ направленіи, противоположномъ направленію другого раза.

Познакомившись нѣсколько болѣе съ главнымъ закономъ электрическаго тока, а именно съ закономъ Ома, имѣющимъ значеніе для всякаго электрическаго тока, и уяснивъ себѣ три главныя понятія: силу тока, напряженіе и сопротивленіе, мы будемъ говорить теперь о дѣйствіяхъ и основанныхъ на этихъ дѣйствіяхъ практическихъ примѣненіяхъ электрическаго тока. Такимъ образомъ мы получимъ мало по малу болѣе опредѣленныя понятія о томъ, что представляетъ собою электрическій токъ, тогда какъ до сихъ поръ изъ магнитныхъ дѣйствій мы могли заключить только объ его существованіи и могущихъ наблюдаться свойствахъ.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Магнитныя дѣйствія электрическаго тока и ихъ примѣненія

Содержаніе: Электромагнитизмъ.—Полученіе электромагнитовъ.—Магнитныя силовыя линіи тока.—Магнитная проводимость.—Картина электромагнитныхъ явленій. — Притяженія и отталкиванія. — Вращенія.— Продолжительныя вращенія.—Магнитныя дѣйствія двухъ токовъ другъ на друга (электродинамика). — Примѣненія: Молоточекъ Неефа.— Электрическіе звонки.—Телеграфъ.—Телефонъ и микрофонъ.

Съ тѣхъ поръ, какъ Эрштедтъ наблюдалъ первое магнитное дѣйствіе электрическаго тока, состоящее въ отклоненіи магнитной стрѣлки, рядъ соотношеній между электрическимъ токомъ и магнитными явленіями чрезвычайно расширился. Наблюденіе Эрштедта представляетъ собою лишь одно изъ большого общаго класса соотношеній между гальваническимъ токомъ и магнитами, открытыхъ съ помощью дальнѣйшихъ изслѣдованій самыхъ различныхъ физиковъ и извѣстныхъ подъ общимъ названіемъ электромагнитизма.

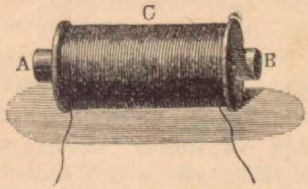


Рис. 35

Электрическій токъ можетъ, прежде всего, производить магниты, дѣлать немагнитное желѣзо магнитнымъ.

Если электрическій токъ пропустить спиралеобразно вокругъ немагнитнаго стержня изъ мягкаго желѣза, то желѣзный стержень становится магнитнымъ. Чтобы цѣлесообразно произвести этотъ опытъ, для этого обматываютъ деревянный цилиндръ рядомъ оборотовъ изъ накладывающейся другъ на друга проволоки, какъ это видно у *C* на рис. 35. Концы этихъ проволочныхъ оборотовъ

соединяются съ полюсами гальванической батареи. Такимъ образомъ токъ протекаетъ вокругъ цилиндра по почти спиралеобразнымъ оборотамъ. Если въ полость цилиндра ввести стержень AB изъ мягкаго немагнитнаго желѣза, то самъ онъ становится чрезвычайно сильнымъ магнитомъ, одинъ его конецъ сѣвернымъ полюсомъ, а другой—южнымъ. Объ этомъ судятъ по тому, что теперь къ стержню пристаетъ, напр., ключъ или желѣзный гвоздь. Такой обмотанный проволокой цилиндръ называется намагничивающей катушкой. Лишь только токъ прерывается, какъ въ мягкомъ желѣзѣ прекращается магнитизмъ, и приставшій, напр., къ нему ключъ снова отпадаетъ. Такимъ образомъ магнитнымъ стержень дѣлается только подъ дѣйствіемъ тока. Поэтому такой магнитъ, дѣлающійся магнитнымъ лишь отъ электрическаго тока, и называется электромагнитомъ. У всякаго магнитнаго стержня бываютъ сѣверный и южный полюсы; поэтому теперь возникаетъ вопросъ, какой конецъ стержня AB представляетъ собою сѣверный полюсъ, и какой—южный? Отвѣтомъ на этотъ вопросъ служитъ то же правило Ампера, которое было уже приведено выше на стр. 13.

Если представить себя плывущимъ въ направленіи тока по проволокѣ намагничивающей катушки лицомъ къ магнитному стержню, то сѣвернымъ полюсомъ будетъ всегда тотъ конецъ который лежитъ по лѣвую руку. Итакъ, при опредѣленномъ направленіи тока одинъ конецъ стержня образуетъ сѣверный полюсъ, а другой—южный. При измѣненіи съ помощью коммутатора въ намагничивающей катушкѣ направленія тока, измѣняется и магнитизмъ въ AB: тотъ конецъ, который раньше былъ сѣвернымъ полюсомъ, теперь становится южнымъ, и обратно. Электромагниты получаются гораздо сильнѣе, если обмотать проволочными оборотами, по которымъ пропускается токъ, не прямой стержень, а подковообразно согнутое желѣзо. На рис. 36 изображено часто употребляющееся приспособленіе, служащее для полученія очень сильныхъ электромагнитовъ. Два толстыхъ цилиндра изъ мягкаго желѣза устанавливаются на прочномъ столѣ, на которомъ они снизу соединяются между собою желѣзнымъ поперечникомъ, образуя такимъ образомъ нѣчто вродѣ желѣзной подковы. На каждый изъ желѣзныхъ цилиндровъ намотано по три магнитизирующихъ обмотки $a^1a^2a^3$ и $b^1b^2b^3$, по которымъ можно пропускать вокругъ нихъ токъ.

Спирали $a^1a^2a^3$ и $b^1b^2b^3$ соединены между собой такимъ образомъ, что по всѣмъ нимъ токъ протекаетъ въ одномъ и томъ же направленіи. Оба выдающіеся изъ катушекъ конца желѣзныхъ цилиндровъ становятся въ этомъ случаѣ противопо-

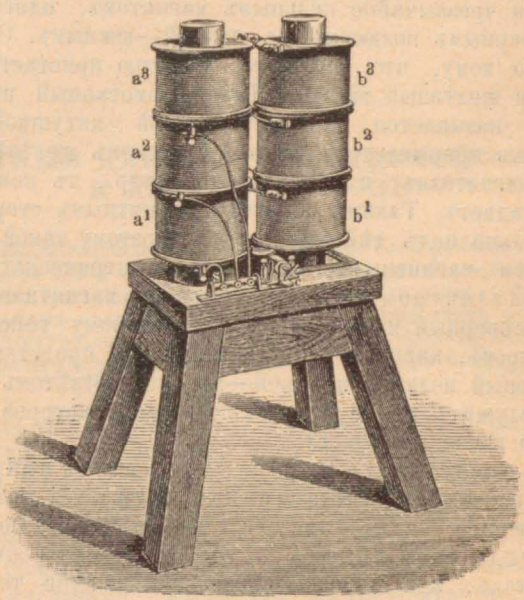


Рис. 36

ложно намагниченными, одинъ конецъ—сѣвернымъ, а другой—южнымъ полюсомъ. Къ столу обыкновенно придѣлываются зажимные винты, позволяющіе вводить токъ въ намагничивающія обмотки, а кромѣ нихъ еще и коммутаторъ, служащій для того, чтобы имѣть возможность быстро измѣнять полюсы магнитовъ или даже совершенно прерывать токъ и тѣмъ вполнѣ уничтожать въ желѣзѣ магнитизмъ. Изъ правила Ампера слѣдуетъ, что при данномъ на рис. 37 изображеніи вокругъ южнаго полюса токъ, если на него смотрѣть сверху, протекаетъ въ направленіи движенія часовой стрѣлки,

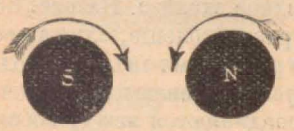


Рис. 37

а вокругъ сѣвернаго—въ направленіи, обратномъ ея движенію.

При прерываніи тока магнитизмъ желѣза пропадаетъ. Впрочемъ, это невполнѣ правильно. Всегда проходитъ нѣкоторый небольшой, но измѣримый промежутокъ времени, пока магнитизмъ исчезнетъ изъ желѣзнаго сердечника. Для объясненія этихъ магнитныхъ явленій принимаютъ, что во всякомъ, даже и немагнитномъ, кускѣ желѣза находятся молекулы, которыя сами по себѣ всегда магнитны, но что всѣ онѣ имѣютъ самыя разнообразныя положенія и направленія; дѣйствіе же производимаго протекающимъ вокругъ желѣза токомъ намагничиванія основано на томъ, что всѣ молекулы желѣза устанавливаются въ одномъ и томъ же направленіи. Поэтому магнитомъ называется такой кусокъ желѣза, всѣ молекулы котораго имѣютъ одинаковое направленіе. Затѣмъ принимается, что въ обыкновенномъ мягкомъ желѣзѣ онѣ устанавливаются въ новыхъ своихъ положеніяхъ почти безъ всякаго затрудненія; въ стали же, напротивъ того, нелегко вызвать подобное измѣненіе ихъ направленія. Въ стали молекулы такъ крѣпко соединены другъ съ другомъ, что всякому измѣненію направленія противодѣйствуетъ громаднѣйшая сила, называемая задерживающей силой; въ мягкомъ же желѣзѣ задерживающая сила, напротивъ того, весьма ничтожна, почти равна нулю. Но совсѣмъ безъ задерживающей силы не бываетъ даже и мягкаго желѣза. Поэтому при замыканіи намагничивающаго тока даже и оно не тотчасъ же становится магнитнымъ въ той полной степени, которой достигаетъ по истеченіи нѣкотораго времени, измѣряемаго, правда, лишь долями секунды. Точно также и по прекращеніи намагничивающаго тока мягкое желѣзо размагничивается не тотчасъ, а теряетъ свой магнитизмъ понемногу, хотя и въ очень короткій промежутокъ времени. Слѣдствіемъ этого является слѣдующее замѣчательное явленіе. Если намагничивающій мягкое желѣзо токъ увеличивать понемногу (мало по малу увеличивая силу тока въ магнитизирующей спирали), то желѣзо не достигаетъ сейчасъ же полной своей магнитной силы, но нѣсколько отстаетъ отъ нея, благодаря существованію той задерживающей силы, которую ей надо преодолѣть. И обратно: если понемногу уменьшать силу намагничивающаго тока, то магнитизмъ желѣза не пропадаетъ моментально, а еще остается нѣкоторое время, такъ какъ исчезновенію его препятствуетъ та же задерживающая сила. При

одинаковой силѣ намагничивающаго тока возбуждаемый имъ магнитизмъ при усиливаніи тока меньше, чѣмъ при его ослабленіи. Это явленіе называется гистерезисомъ (отставаніемъ) желѣза. Оно является помѣхой при многихъ примѣненіяхъ электромагнитовъ, а въ иныхъ случаяхъ надо считаться съ этимъ свойствомъ даже самаго мягкаго желѣза.

Происходящее въ данномъ случаѣ можно представить себѣ такимъ образомъ, что желѣзныя молекулы, поворачиваясь, измѣняя свое направленіе, испытываютъ нѣкоторое другъ о друга треніе, препятствующее имъ слѣдовать непосредственно

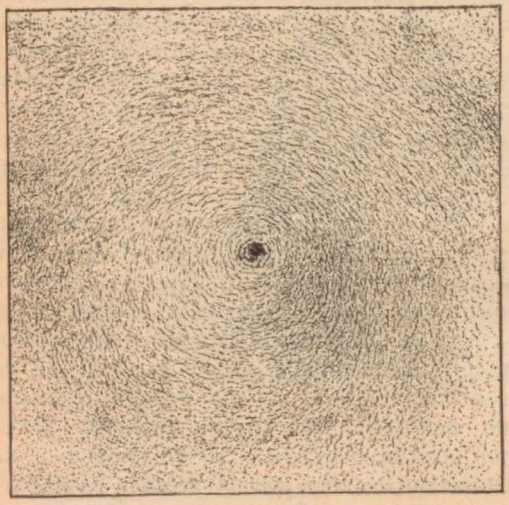


Рис. 38

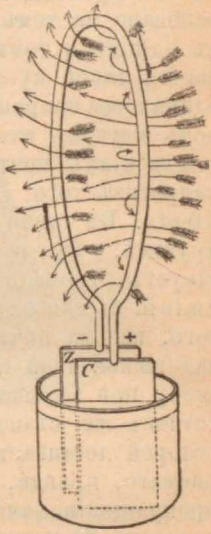


Рис. 39

за дѣйствующей силой. Но при всякомъ треніи, при всякомъ преодолѣніи сопротивленія развивается теплота. Должна развиваться она поэтому и въ мягкомъ желѣзѣ при его намагничиваніи и размагничиваніи. Въ случаѣ, если намагничивающій токъ, какъ это весьма часто бываетъ въ электрическихъ машинахъ, очень быстро усиливается, а затѣмъ снова ослабѣваетъ, такъ что и магнитизмъ электромагнитовъ все время измѣняется, то всякій разъ, благодаря гистерезису, развивается небольшое количество теплоты. Всѣ же небольшія такія

количества суммируются, и въ концѣ концовъ температура желѣза весьма значительно повышается,—желѣзо очень сильно нагрѣвается. Этотъ недостатокъ служитъ большой помѣхой въ электрическихъ машинахъ, и его надо устранять особыми приспособленіями.

Тотъ фактъ, что токъ дѣйствуетъ на мягкое желѣзо, намагничивая его, неизбѣжно приводитъ къ мысли, что возлѣ магнита существуютъ нѣкоторыя магнитныя силы. Это можно доказать прямымъ опытомъ. Если прямою проволокой, по которой проходитъ сильный токъ, проткнуть перпендикулярно его поверхности листъ бумаги и разсыпать по немъ мелкія желѣзныя опилки, то онѣ располагаются такъ, какъ это указано на рис. 38, образуя вокругъ проводящей токъ проволоки замкнутые круги. Всякую такую прямую или кривую линій, по которой подъ дѣйствіемъ магнитныхъ силъ располагаются желѣзныя опилки, называютъ магнитною силовою линіею. Итакъ, только что приведенный опытъ доказываетъ намъ, что существующія вблизи прямолинейнаго тока силовыя линіи представляютъ собою расположенные вокругъ него круги. Если же взять не прямолинейный токъ, а согнутую въ петлю проволоку, какъ на рис. 39, то расположенныя вокругъ каждой части проволоки силовыя линіи имѣютъ направленія, указанныя маленькими стрѣлками; слагаясь же вмѣстѣ, онѣ слѣдуютъ за направленіемъ большихъ стрѣлъ, т. е. вообще силовыя линіи пронизываютъ плоскость петли съ проходящимъ по ней токомъ по перпендикулярному направленію.

Поэтому, если мы возьмемъ затѣмъ проволочную спираль, какъ на рис. 40, то по той же причинѣ силовыя линіи пройдутъ сквозь нее, въ сущности говоря, параллельно ея оси. Магнитная сила или, какъ тоже говорятъ, сила поля (оба эти выраженія совершенно однозначущи) внутри спирали, по которой проходитъ токъ (называемой также соленоидомъ), будетъ тѣмъ больше, чѣмъ большее число оборотовъ приходится на 1 сантиметръ длины спирали, и чѣмъ сильнѣе проходящій по ней токъ.

Если силу тока выражать въ амперахъ, то произведеніе изъ числа оборотовъ соленоида на 1 сантиметръ длины и силы тока называется обыкновенно числомъ амперъ-оборотовъ. Итакъ, можно сказать, что магнитное поле внутри соленоида тѣмъ больше, чѣмъ больше число амперъ-оборотовъ. Магнитную силу или силу поля, имѣющуюся въ нѣкоторомъ мѣстѣ

магнитнаго поля, весьма цѣлесообразно представляютъ очень наглядным образомъ. Если, напр., внутри нашей спирали сила поля есть 200, то черезъ внутренность такой спирали проводятъ параллельно ея оси нѣкоторое число линій, силовыхъ линій, а именно столько, что на каждый квадратный сантиметръ ихъ приходится какъ разъ 200. Въ этомъ случаѣ, взглянувъ на число силовыхъ линій, приходящихся на 1 кв. сантиметръ, можно судить о силѣ поля. Итакъ, сила поля и

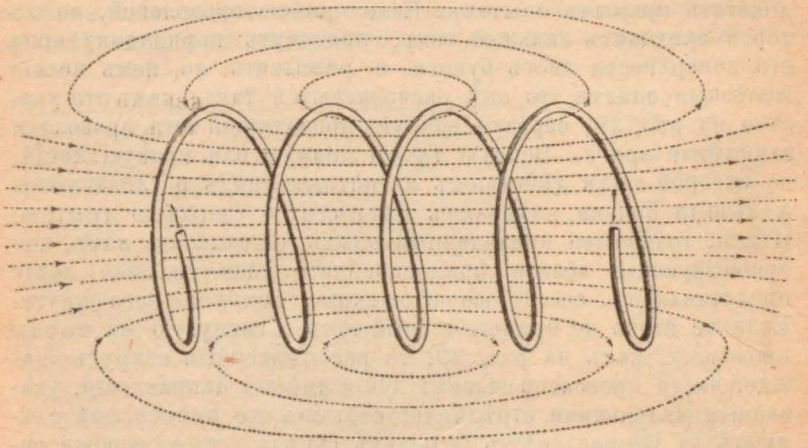


Рис. 40

число силовыхъ линій на 1 кв. сантиметрѣ означаютъ совершенно одно и то же, съ тою только разницей, что силовыя линіи даютъ болѣе наглядную картину существующихъ въ полѣ магнитныхъ силъ.

Если въ соленоидъ ввести желѣзный стержень, то онъ намагничивается. Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ магнитную силу создаетъ не только токъ, но и желѣзный сердечникъ, а потому при введеніи этого послѣдняго магнитная сила возрастаетъ весьма значительно. Число силовыхъ линій, пронизывающихъ теперь спираль, т. е. желѣзный сердечникъ, становится значительно больше, потому что и само магнитное желѣзо, въ зависимости отъ силы своего магнитизма, содержитъ въ себѣ или испускаетъ отъ себя то или иное число силовыхъ линій. Различные сорта желѣза весьма существенно отличаются другъ отъ друга тѣмъ, въ какомъ отношеніи увеличиваютъ они число силовыхъ

линій соленоида. Такъ, напр., опыты даютъ слѣдующую связь между числомъ амперъ-оборотовъ намагничивающей спирали (а слѣдовательно, намагничивающей ея силой) съ одной стороны и числомъ силовыхъ линій на 1 кв. сантиметрѣ, возникающихъ благодаря намагничиванію въ различныхъ желѣзныхъ тѣлахъ,—съ другой. Помѣщенная ниже таблица содержитъ въ себѣ данныя для трехъ сортовъ желѣза, называемыхъ мягкимъ желѣзомъ, литою сталью и чугуномъ.

Число амперъ-оборотовъ (на 1 сант.).	Число силовыхъ линій на 1 кв. сант.		
	Мягкое желѣзо.	Литая сталь.	Чугунъ.
5	9.000	11.000	—
10	12.000	13.500	2.300
15	13.300	14.500	3.900
20	14.400	15.000	5.000
25	14.900	15.500	5.600
30	15.300	15.800	6.200

Изъ этой таблицы видно, что число силовыхъ линій, приходящихся на квадратный сантиметръ, а слѣдовательно, и сила намагничиванія, при одинаковомъ числѣ амперъ-оборотовъ, для литой стали больше, чѣмъ для мягкаго желѣза, а для обоихъ значительно больше, чѣмъ для чугуна.

Отношеніе числа силовыхъ линій спирали по введеніи въ нее желѣзнаго сердечника къ числу силовыхъ линій, бывшихъ въ ней, пока его не было, называется магнитною проводимостью даннаго желѣза. Иногда для отношенія этого употребляютъ также выраженіе магнитная проницаемость.

По вышеприведеннымъ таблицамъ мы можемъ вычислить проницаемость для этихъ трехъ сортовъ желѣза, такъ какъ число силовыхъ линій, пронизывающихъ квадратный сантиметръ въ пустой спирали, равно числу амперъ-оборотовъ (точнѣе помноженному на $\frac{5}{4}$). Такимъ образомъ мы получимъ слѣдующую таблицу:

Число амперъ-оборотовъ (на 1 сант.).	Магнитная проводимость.		
	Мягкое желѣзо.	Литая сталь.	Чугунъ.
5	1.480	1.760	—
10	960	1.080	184
15	709	773	208
20	576	600	200
25	477	496	179
30	408	421	165

Какъ видимъ, магнитная проводимость различныхъ сортовъ желѣза не представляетъ собою неизмѣнной величины, какъ электропроводность металловъ, а становится тѣмъ меньше, чѣмъ сильнѣе дѣйствующія на желѣзо намагничивающія силы. Пріобрѣтаемый желѣзнымъ тѣломъ магнитизмъ не измѣняется шагъ за шагомъ наравнѣ съ намагничивающей силой, но возрастаетъ гораздо медленнѣе ея и приближается къ нѣкоторому предѣлу, переступить за который уже не можетъ.

Точно также можно говорить и о магнитной проводимости другихъ тѣлъ. Для нихъ, напр. для воздуха и мѣди, проводимость равна 1, такъ какъ они, будучи внесены въ спираль, не увеличиваютъ числа силовыхъ линій. Проводимость, нѣсколько бо́льшую единицы, имѣютъ только никкель и кобальтъ.

Подобный способъ представленія, кажущійся съ перваго взгляда нѣсколько натянутымъ, на самомъ дѣлѣ приводитъ къ весьма важному уясненію магнитныхъ явленій.

Возьмемъ цѣльное желѣзное кольцо и обмотаемъ его проволокой. Черезъ послѣднюю долженъ проходить токъ опредѣленной силы. Тогда можно знать, сколько амперъ-оборотовъ вызываютъ магнитныя силовыя линіи. Чѣмъ больше проводимость желѣза, чѣмъ больше поперечное сѣченіе кольца, чѣмъ сильнѣе токъ, и чѣмъ больше оборотовъ, приходится на 1 сант. длины чѣмъ, слѣдовательно, меньше длина кольца (по средней его окружности), тѣмъ больше силовыхъ линій проходитъ черезъ желѣзный сердечникъ. Поэтому тутъ можно установить законъ, вполнѣ аналогичный съ закономъ Ома, дѣйствующимъ въ явленіяхъ электрическаго тока. Если все число амперъ-оборотовъ нашего кольца, возбуждающихъ въ немъ магнитизмъ, назовемъ *магнитодвижущей силой*, а ту величину, которая зависитъ отъ проводимости, поперечнаго сѣченія и длины кольца,—магнитнымъ сопротивленіемъ, то можно сказать, что число силовыхъ линій въ нашемъ кольцѣ равно магнитодвижущей силѣ, дѣленной на магнитное сопротивленіе.

$$\text{Число силовыхъ линій} = \frac{\text{магнитодвижущая сила}}{\text{магнитное сопротивленіе}}$$

Число силовыхъ линій въ магнитномъ законѣ играетъ такую же роль, какъ сила тока—въ законѣ Ома.

Что же касается магнитнаго сопротивленія кольца, то оно вполнѣ подобно электрическому сопротивленію проволоки; оно

тѣмъ больше, чѣмъ больше длина кольца, и чѣмъ меньше его поперечное сѣченіе и проводимость:

$$\text{магнитное сопротивленіе} = \frac{\text{длина}}{\text{поперечн. сѣченіе} \times \text{проводимость}}$$

Совершенно также:

$$\text{электрическое сопротивленіе} = \frac{\text{длина}}{\text{попер. сѣченіе} \times \text{электропров.}}$$

Этотъ законъ магнетизма, прежде всего, справедливъ только для замкнутаго желѣзнаго кольца, потому что лишь въ этомъ случаѣ намагничивается одинъ желѣзный сердечникъ. Но тотъ же законъ можно съ большою точностью примѣнить и къ приблизительно замкнутой магнитной цѣпи, если только для магнитнаго сопротивленія всякій разъ подбирать дѣйствительныя значенія.

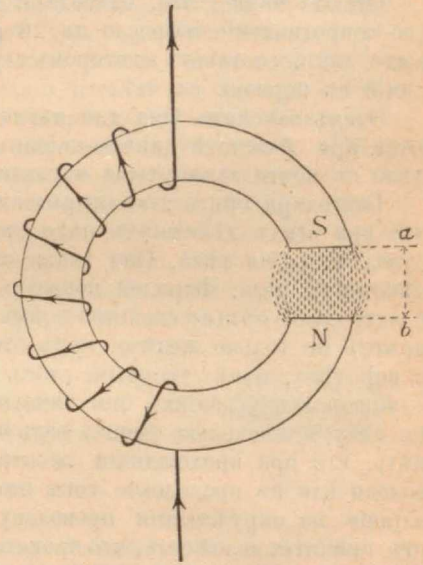


Рис. 41

Разсмотримъ, напр., изображенное на рис. 41 желѣзное кольцо, которое въ мѣстѣ SN перерѣзано, такъ что здѣсь находятся воздушный слой и два свободныхъ полюса кольца.

Силовыя линіи проходятъ въ слоѣ воздуха между S и N, какъ это показано на рисункѣ, въ сущности говоря, прямолинейно и лишь немного изгибаются наружу. Происходитъ это съ ними въ тѣмъ меньшей степени, чѣмъ меньше слой воздуха. Въ этомъ случаѣ разсчитать число силовыхъ линій можно лишь тогда, если принять, что все магнитное сопротивленіе состоитъ изъ двухъ частей; если именно:

все магнитное сопротивленіе = магнитн. сопрот. желѣза + магнитн. сопрот. воздуха.

Разсчитаемъ это на самомъ дѣлѣ. Пусть поперечное сѣченіе кольца будетъ равно 2 кв. сант.; длина всего кольца

(т. е. длина средней окружности)—40 сант. и толщина воздушнаго слоя 1 сант. Магнитная проводимость желѣза пусть будетъ 1000. Въ такомъ случаѣ, еслибы разрыва кольца не было, то его магнитное сопротивленіе выразилось бы числомъ

$$\frac{40}{2.1000} = 0{,}02$$

А такъ какъ въ концѣ имѣется прорѣзъ, то его магнитное сопротивленіе будетъ равно

$$\frac{39}{2.2000} + \frac{1}{2} = 0{,}52.$$

Отсюда видно, что, благодаря прорѣзу кольца, магнитное его сопротивленіе возросло въ 26 разъ, такъ что число силовыхъ линій составитъ во второмъ случаѣ лишь $^1/_{26}$ числа этихъ линій въ первомъ случаѣ.

Этимъ закономъ Ома для магнитизма обыкновенно пользуются при разсчетѣ динамо-машинъ, гдѣ приходится имѣть дѣло съ почти замкнутыми магнитными цѣпями.

Благодаря опять таки открытіямъ Фарадея стало извѣстно, что при этихъ дѣйствіяхъ надо принимать во вниманіе и воздухъ, и другія тѣла. Они также играютъ въ данномъ случаѣ нѣкоторую роль. Фарадей показалъ, что магнитизмъ представляетъ собою общее свойство всѣхъ тѣлъ, что намагничиваться можетъ не только желѣзо, какъ это думали раньше, а также и всѣ тѣла, какъ твердыя, такъ и жидкости, и газы. При одинаковыхъ условіяхъ они намагничиваются гораздо слабѣе, въ одну и нѣсколько тысячъ разъ меньше. Поэтому надо принять, что при прохожденіи электрическаго тока вдоль проволоки или въ проволокѣ токъ этотъ оказываетъ магнитное вліяніе на окружающія проволоку тѣла. А это недалеко и отъ принятія положенія, что происходящіе въ расположенныхъ близъ тока тѣлахъ магнитные процессы съ помощью какихъ-то движеній молекулъ тѣла находятся въ прочной связи съ тѣмъ, что называется магнитизмомъ.

Но объ истинной природѣ этихъ движеній у насъ нѣтъ до сихъ поръ совсѣмъ никакого основательнаго представленія. Магнитныя явленія имѣютъ много аналогій съ тѣми механическими явленіями, которыя называются вращеніемъ. Вращающееся тѣло всегда вращается вокругъ нѣкоторой оси, и въ каждомъ случаѣ направленіе этой оси характеризуетъ собою вращеніе. Легко возможно, что магнитная ось магнитнаго тѣла, т. е. линія, соединяющая между собою его сѣвер-

ный и южный полюсы, представляетъ изъ себя не что иное, какъ нѣкоторую ось, вокругъ которой вращаются частицы. Согласно этому представленію, вокругъ проволоки, по которой проходитъ токъ, имѣются оси вращенія отдѣльныхъ магнитныхъ молекулъ, которыя, складываясь вмѣстѣ, образуютъ нѣкоторыя замкнутыя круговыя линіи вокругъ проволоки. Возможно и то, что существованіе магнитныхъ силовыхъ линій говоритъ объ опредѣленномъ распредѣленіи магнитныхъ молекулъ, находящихся въ связи съ этими силовыми линіями. Особыя магнитныя свойства желѣза, сравнительно съ подобными свойствами всѣхъ другихъ тѣлъ, указываютъ въ этомъ случаѣ на то, что въ желѣзѣ такое распредѣленіе вызвать гораздо легче, чѣмъ въ другихъ тѣлахъ, напр., въ воздухѣ.

Вышеприведенное толкованіе тока и магнита съ большою легкостью разъясняетъ и всѣ явленія электромагнитизма. Такъ, напр., дѣйствіе, которымъ мы пользовались выше, при построеніи амперметра, и которое состоитъ во втягиваніи мягкаго желѣзнаго сердечника въ спираль съ проходящимъ по ней токомъ, основывается просто на томъ, что въ желѣзѣ возбудить силовыя линіи гораздо легче, чѣмъ въ воздухѣ. Благодаря этому, такой подвѣшенный подвижной желѣзный стержень стремится установиться на мѣсто воздуха, т. е. онъ движется внутрь спирали. Спираль, по которой проходитъ токъ, всегда втягиваетъ въ себя стержень изъ мягкаго желѣза, пока середина этого послѣдняго не совпадетъ съ серединою спирали, какъ на рис. 42.

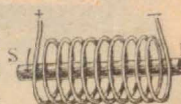


Рис. 42

Если же мы вблизи гальваническаго тока помѣстимъ не немагнитный кусокъ желѣза, а уже готовый магнитъ, силовыя линіи котораго имѣютъ вполнѣ опредѣленное направленіе (но иное, чѣмъ этого требуетъ токъ), то магнитъ непремѣнно долженъ придти въ движеніе, разъ только онъ подвиженъ. Подъ вліяніемъ тока всѣ силовыя линіи стремятся установиться въ нѣкоторомъ опредѣленномъ направленіи. Если поэтому въ магнитѣ уже имѣются силовыя линіи другого направленія, то весь магнитъ стремится стать такъ, чтобы его силовыя линіи шли въ направленіи, требуемомъ токомъ. Простѣйшимъ примѣромъ этого служитъ вращеніе магнитной стрѣлки подъ вліяніемъ тока, которое было нашимъ исходнымъ пунктомъ.

Но и обратно: если проводникъ съ токомъ подвиженъ, а магнитъ неподвиженъ, то двигаться долженъ проводникъ, и притомъ такъ, чтобы направленіе его силовыхъ линій, перпендикулярныхъ къ его плоскости, стало параллельно оси магнита. Для экспериментальнаго доказательства этого надо прежде всего устроить такую цѣпь тока, отдѣльныя части которой были бы подвижны. Это и было осуществлено Амперомъ съ помощью названнаго по его имени прибора Ампера.

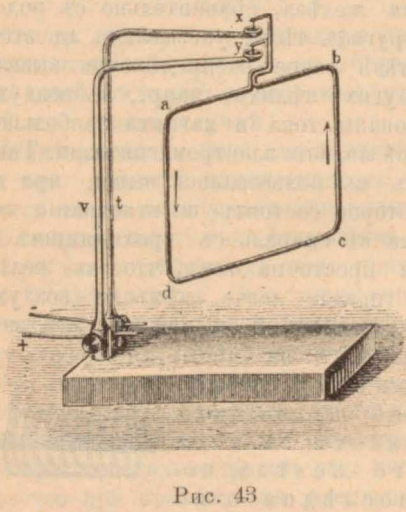


Рис. 43

Онъ построилъ проволочный четыреугольникъ, движеніе котораго надо было изслѣдовать такимъ образомъ, что его острія погружались въ чашечки, наполненныя ртутью. Чашечки эти были укрѣплены на проводящихъ подставкахъ. На рис. 43, на которомъ изображенъ этотъ приборъ, токъ проходитъ въ двѣ металлическія стойки v и t, на верхнихъ концахъ которыхъ находятся чашечки со ртутью x и y. Въ нихъ погружены острія подвижного проволочнаго четыреугольника $abcd$, который такимъ образомъ можетъ вращаться, какъ угодно. Стоитъ только поднести къ такой вращающейся цѣпи тока магнитъ,—и она дѣйствительно устанавливается въ нѣкоторомъ опредѣленномъ по отношенію къ магниту положеніи. Она устанавливается такъ, что плоскость цѣпи тока будетъ перпендикулярна къ оси магнита. Другими словами, ось магнита и силовыя линіи цѣпи тока будутъ параллельны.

Да и вообще, если токи и магниты расположены такимъ образомъ, что силовыя линіи первыхъ не находятся на линіи, параллельной силовымъ линіямъ послѣднихъ, то либо токъ, либо магнитъ,—смотря по тому, что изъ нихъ можетъ двигаться,—начинаютъ дѣйствительно поворачиваться. Если, благодаря

этому поворачиванію, онѣ приходятъ въ положенія, между собою параллельныя, то движеніе прекращается. Если же, въ силу того или другого устройства прибора, силовыя линіи не достигнутъ подобныхъ параллельныхъ положеній, то поворачиваніе продолжается безпрерывно. Такимъ путемъ можно получить непрерывное вращеніе магнитовъ вокругъ токовъ или токовъ вокругъ магнитовъ. Такое расположеніе силовыхъ линій, впервые достигнутое Фарадеемъ, показано на рис. 44. Имѣются два магнитныхъ стержня ns и n_1s_1, которые могутъ вращаться. Гальваническій токъ, войдя черезъ зажимъ c, поднимается по металлическому стержню ab. Кусочекъ металла d, на которомъ укрѣплены магниты, погруженъ въ чашечку со ртутью, заканчивающую собою стержень ab. Этотъ кусочекъ d несетъ вмѣстѣ съ тѣмъ на себѣ проволочку e, погруженную въ кольцеобразный, наполненный ртутью, сосудъ ff. Войдя въ c, токъ проходитъ черезъ ab во вращающійся кусочекъ d, а отъ него черезъ проволоку e во ртуть въ точкѣ f, откуда черезъ проволоку h идетъ въ зажимъ g и возвращается обратно въ элементъ. Такимъ образомъ часть тока def можетъ двигаться вмѣстѣ съ магнитами. Какъ видно, силовыя линіи тока $adfh$ идутъ, въ сущности говоря, горизонтально, а слѣдовательно, онѣ постоянно перпендикулярны къ вертикальнымъ осямъ магнитовъ. Оттого эти послѣднія во все время прохожденія тока поворачиваются, стремясь стать параллельно съ силовыми линіями; а такъ какъ онѣ не могутъ достигнуть желаемой параллельности, то и поворачиваются до тѣхъ поръ, пока не будетъ прерванъ токъ.

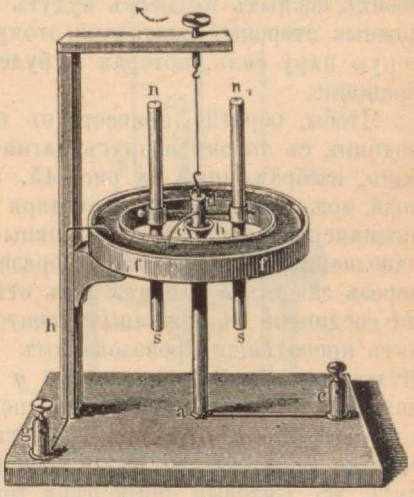


Рис. 44.

Пользуясь правиломъ Ампера (правиломъ плывущаго человѣка), можно также убѣдиться въ томъ, что магниты должны

вращаться, и можно при этомъ сообразить, каково должно быть направленіе этого вращенія. Такъ, напр., представимъ себѣ, что положительный токъ протекаетъ въ направленіи *cab*. Если въ такомъ случаѣ плывущій человѣкъ расположится въ *ab* и станетъ смотрѣть на магнитъ *ns*, то южный конецъ послѣдняго будетъ двигаться назадъ (по правую руку отъ смотрящаго на него человѣка); если же смотрѣть на магнитъ $n_1 s_1$, то южный полюсъ этого магнита будетъ отклоняться впередъ отъ плоскости рисунка. Такимъ образомъ отклоненія обоихъ южныхъ полюсовъ будутъ направлены въ противоположныя стороны. Благодаря этому магниты образуютъ нѣкоторую пару силъ, которая и будетъ постоянно производить вращеніе.

Чтобы, обратно, привести въ непрерывное вращеніе проводникъ съ токомъ вокругъ магнита, Фарадей построилъ приборъ, изображенный на рис. 45. Въ немъ часть *abc* цѣпи тока можетъ двигаться благодаря существованію острія *b*, вращаясь вокругъ оси *dd*. Концы цѣпи тока погружены въ наполненный ртутью кольцеобразный сосудъ *f*, въ который черезъ зажимъ *h* входитъ токъ отъ элемента. Ось вращенія *dd* соединена съ зажимнымъ винтомъ *e*, къ которому подходитъ проводящая проволока отъ другого полюса элемента. Итакъ, токъ, войдя черезъ *h* и *g* въ сосудъ со ртутью, поднимается затѣмъ одновременно по *a* и *c* до *b*, а оттуда черезъ остріе *b* и металлическую ось *d* идетъ къ зажиму *e* и обратно къ элементу. Возлѣ оси находится стержневой магнитъ NS. Силовыя линіи цѣпи тока *abc*, которыя опять таки горизонтальны, стремятся установиться параллельно оси магнита, а такъ какъ достигнуть этого онѣ не могутъ, то проволочная цѣпь постоянно вращается, потому что ни въ одномъ положеніи она не можетъ придти въ состояніе покоя. Такимъ образомъ проволочная дуга вращается вокругъ магнитнаго полюса. Если магнитъ повернуть такъ, чтобы кверху былъ обращенъ его южный полюсъ, или же измѣнить въ цѣпи направленіе тока, то направленіе вращенія станетъ обратнымъ первоначальному.

О направленіи этого движенія отдѣльныхъ частей тока въ магнитномъ полѣ можно судить по правилу Ампера, а еще проще—по правилу, вспомогательными средствами котораго служатъ большой, указательный и средній пальцы лѣвой руки, представляющіе собою три взаимно перпендикулярныхъ на-

правленія. Если указательный палецъ расположить въ направленіи магнитныхъ силовыхъ линій поля, а средній—въ направленіи тока въ движущейся проволокѣ, то направленіе большого пальца всегда будетъ тѣмъ, въ которомъ двигается проволока. Это правило называется правиломъ лѣвой руки. Изслѣдуемъ съ его помощью, напр., вращеніе проволоки, представленной на рис. 45. Отъ сѣвернаго полюса N магнита силовыя линіи идутъ вверхъ, —вверхъ должны мы держать и указательный палецъ. Если токъ въ части проволоки $c — b$ идетъ отъ сосуда со ртутью къ b, то средній палецъ мы должны расположить на правой сторонѣ прибора по направленію къ b. Слѣдовательно, большой палецъ будетъ направленъ назадъ. Итакъ, правая часть прибора двигается назадъ. Въ лѣвой сторонѣ его токъ идетъ отъ a къ b,—въ этомъ направленіи надо держать и средній палецъ. Тогда большой палецъ выступитъ впередъ, а потому впередъ будетъ двигаться и лѣвая часть прибора. Итакъ, весь приборъ будетъ при этомъ вращаться въ сторону, обратную движенію часовой стрѣлки. Если направленіе тока или магнитныхъ силовыхъ линій будетъ обратное, то обратно будетъ и направленіе вращенія.

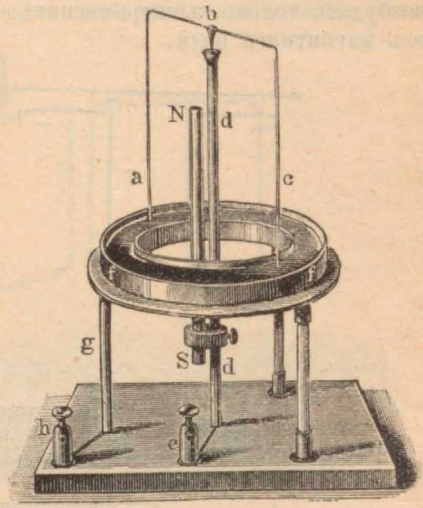


Рис. 45

На рис. 46 данъ другой весьма наглядный примѣръ движенія проволоки въ магнитномъ полѣ. Расположенный горизонтально подковообразный электромагнитъ NS лежитъ такъ, что силовыя линіи, выходя отъ сѣвернаго полюса N, распространяются черезъ воздухъ вверхъ, къ южному полюсу S. При

этомъ, слѣдовательно, указательный палецъ надо держать кверху. Между концами магнита на двухъ длинныхъ, мягкихъ проволокахъ *aa* подвѣшена толстая металлическая полоска М. Черезъ проволоки и полоску М пропускается сильный токъ. Если онъ идетъ сзаду рисунка впередъ, то въ этомъ направленіи надо держать и средній палецъ, а слѣдовательно, полоска будетъ двигаться по направленію большого пальца, т. е. влѣво отъ магнитнаго поля. И дѣйствительно, стоитъ возбудить только электромагнитъ,— и полоска М выходитъ изъ магнитнаго поля.

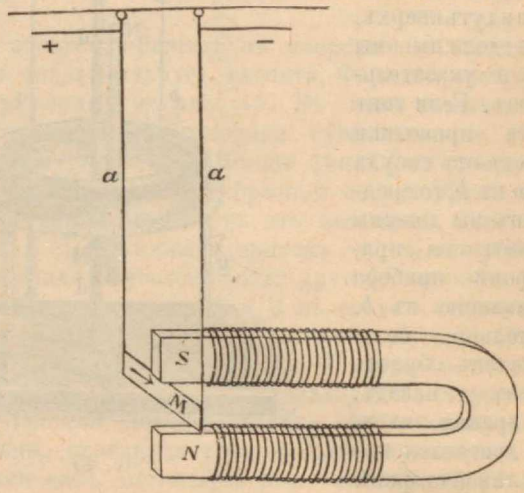


Рис. 46

На томъ основаніи, на какомъ въ магнитномъ полѣ двигалась проволока, должны двигаться и проволоки, если ихъ двѣ, если по обѣимъ изъ нихъ проходитъ токъ, и если одна изъ нихъ подвижна. Черезъ плоскости каждой изъ такихъ цѣпей тока должны перпендикулярно къ нимъ проходить силовыя линіи. Обѣ цѣпи тока должны стремиться стать такимъ образомъ, чтобы силовыя линіи ихъ были параллельны. Слѣдовательно, въ такомъ случаѣ имѣются движенія только между токами и безъ магнитовъ. Здѣсь проявляются своего рода притягательныя и отталкивательныя силы. Амперъ изслѣдовалъ это вліяніе другъ на друга гальваническихъ то-

ковъ и далъ подобнымъ дѣйствіямъ объясненіе путемъ остроумнѣйшихъ опытовъ и размышленій. Все ученіе о механическихъ дѣйствіяхъ другъ на друга гальваническихъ токовъ называется электродинамикой. По нашему пониманію, она представляетъ собою особый случай электромагнитизма.

Для изученія взаимныхъ другъ на друга дѣйствій гальваническихъ токовъ Амперъ долженъ былъ сдѣлать токи подвижными, хотя бы отчасти. И при этихъ изслѣдованіяхъ опять употреблялся приборъ Ампера, уже описанный выше. Если

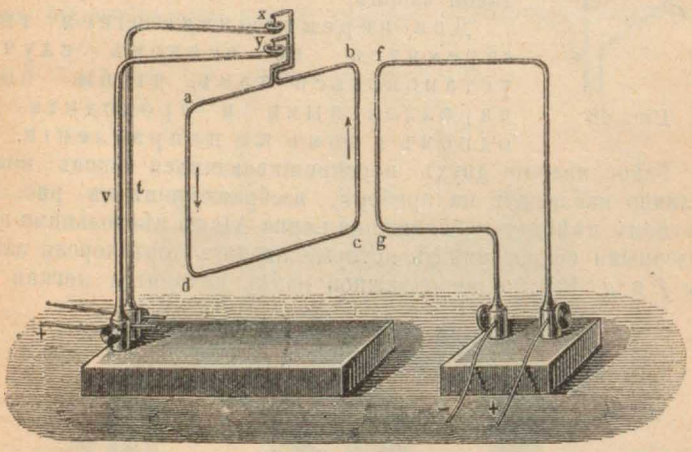


Рис. 47

черезъ этотъ приборъ съ подвѣшеннымъ проволочнымъ четыреугольникомъ (см. налѣво на рис. 47) пропустить въ означенномъ стрѣлками направленіи токъ и придвигать къ этой подвижной цѣпи тока неподвижную *gf* (на рис. направо), то силовыя линіи стремятся установиться параллельно другъ другу, что влечетъ за собою слѣдующее:

Если положительный токъ въ *gf* идетъ снизу вверхъ, т. е. въ такомъ же направленіи, какъ и въ *cb*, то *cb* какъ бы притягивается къ *gf*; если же токъ въ *fg* идетъ сверху внизъ, т. е. въ направленіи противоположномъ, чѣмъ въ *cb*, то *cb* какъ бы отталкивается. Отсюда можно вывести такое заключеніе:

Два параллельныхъ, одинаково направлен-

ныхъ тока устанавливаются такъ, какъ еслибы они притягивались другу къ другу; два же параллельныхъ, но противоположно направленныхъ—такъ, какъ еслибы они отталкивались одинъ отъ другого.

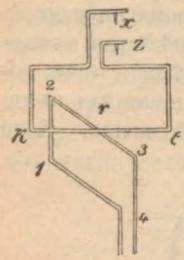


Рис. 48

Если проводники съ токомъ не параллельны, а перекрещиваются, какъ на рис. 48, то на томъ же основаніи можно установить такой законъ:

Два перекрещивающіеся тока стремятся во всякомъ случаѣ установиться такъ, чтобы быть параллельными и проходить въ одномъ и томъ же направленіи.

Такое явленіе двухъ перекрещивающихся токовъ можно отлично наблюдать на приборѣ, изображенномъ на рис. 49. Въ немъ имѣется неподвижная рамка AB съ нѣсколькими проволочными оборотами, въ которые входитъ токъ черезъ зажимы f и g. Внутри неподвижной рамки находится легкая по-

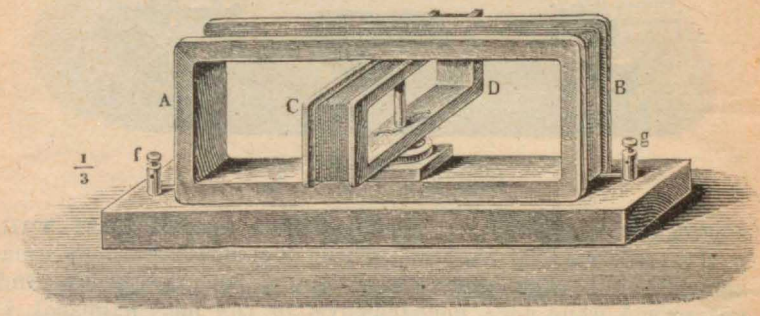


Рис. 49

движная рамка CD, также снабженная проволочными оборотами. Благодаря особому приспособленію, котораго на рисункѣ не видно, токъ можно ввести и въ эти послѣдніе. На рисункѣ обѣ цѣпи тока изображены скрещенными. Онѣ стремятся, слѣдовательно, къ тому, чтобы быть параллельными, и чтобы проходящіе въ нихъ токи были одного направленія. Внутренняя рамка подъ вліяніемъ токовъ дѣйствительно начинаетъ повора-

чиваться, что и продолжается до тѣхъ поръ, пока проволочные обороты не будутъ параллельны, а проходящіе по нимъ токи не будутъ имѣть одинаковаго направленія. Если одновременно измѣнить направленіе токовъ въ обѣихъ рамкахъ, то отъ этого не измѣнятся ни направленіе, ни величина силы, съ которою подвижная катушка стремится къ параллельности съ неподвижной.

Совершенно также, какъ при токахъ и магнитахъ, непрерывное вращеніе происходитъ и въ случаѣ двухъ токовъ, изъ которыхъ одинъ—неподвиженъ, а другой—подвижной. На рис. 50 изображенъ такой приборъ, сконструированный по

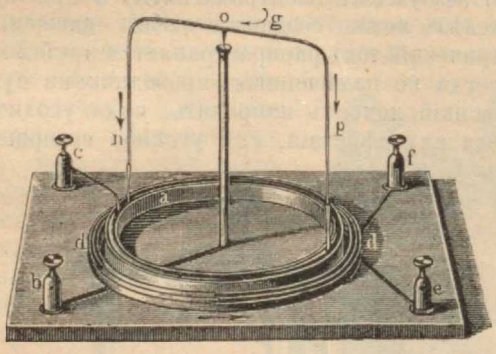


Рис. 50

образцу даннаго выше. Проволока отъ зажима *b* идетъ въ металлическій столбикъ съ находящейся вверху его чашечкой со ртутью, въ которую погружено остріе проволоки *пор*. Токъ идетъ по этому столбику кверху, а затѣмъ по проволокамъ *n* и *p* направляется внизъ. Обѣ проволоки погружены въ наполненный ртутью кольцеобразный сосудъ *a*, который соединяется посредствомъ проволоки съ зажимомъ *c*. Вокругъ сосуда *a* лежитъ согнутая въ спираль мѣдная лента, концы которой присоединены къ зажимамъ *e* и *f*. Если черезъ мѣдную полоску пропустить одинъ токъ, а черезъ подвижную цѣпь тока—другой или даже тотъ же самый, то стороны *p* и *n* начинаютъ вращаться; при данныхъ на рисункѣ направленіяхъ тока вращеніе это будетъ совершаться въ направленіи, противоположномъ направленію положительнаго тока

въ мѣдной спирали. Оно обусловливается тѣмъ, что подвижные проводники *p* и *n* стремятся къ параллельности съ неподвижнымъ, которой однако достичь не могутъ.

Итакъ, мы видимъ, что между токами и магнитами существуетъ цѣлый рядъ взаимодѣйствій, объясняемыхъ тѣмъ основнымъ фактомъ, что вокругъ электрическаго тока образуются магнитныя силы, т. е. что токъ этотъ имѣетъ магнитныя силовыя линіи.

Описанныя электромагнитныя дѣйствія, кромѣ своего научнаго значенія, имѣютъ также и громадное практическое примѣненіе. Дѣйствительно, посредствомъ электрическаго тока можно возбуждать электромагниты, а при притягиваніи къ нимъ желѣза можно создавать любыя движенія. А такъ какъ электрическій токъ распространяется чрезвычайно быстро и идетъ всегда по намѣченнымъ проводникамъ путямъ, то его можно во всякій моментъ направить, куда угодно, и вызвать свойственныя ему дѣйствія, гдѣ угодно, совершенно незави-

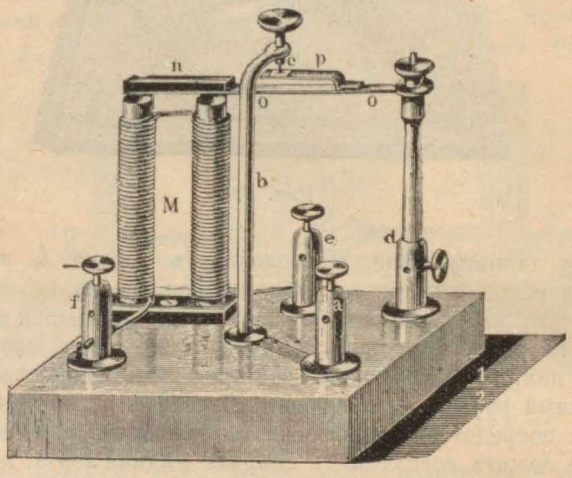


Рис. 51

симо отъ того мѣста, гдѣ токъ возбужденъ. Электрическій токъ побѣждаетъ и пространство, и время. Этими полезными свойствами не отличается никакой другой процессъ въ природѣ, а потому электрическій токъ примѣнимъ къ практикѣ

въ такой степени, какой нѣтъ ни у какой другой силы природы, не исключая даже и теплоты.

Первое очень полезное примѣненіе было сдѣлано франкфуртскимъ врачомъ Нефомъ, получившимъ съ помощью электромагнита быстрое колебательное движеніе. Построенный имъ приборъ называется по его имени молоточкомъ Нефа. Онъ основанъ на томъ, что токъ проходитъ вокругъ мягкаго желѣза, дѣлая его, слѣдовательно, при своемъ прохожденіи магнитнымъ. Магнитъ притягиваетъ къ себѣ якорь, т. е. кусокъ мягкаго желѣза. Этотъ послѣдній укрѣпленъ на пружинѣ и устроенъ такимъ образомъ, что при притягиваніи его къ магниту токъ прерывается, благодаря чему якорь отрывается отъ магнита. Устройство этого молоточка показано на рис. 51. Одинъ полюсъ элемента соединенъ съ зажимомъ *a*, и оттуда токъ идетъ черезъ металлическій столбикъ *b* къ платиновому острію *c*, нажимающему на пружину, такъ что токъ идетъ черезъ эту пружину къ *o* и *d*. Изъ *d* токъ идетъ или прямо, или же черезъ внѣшнюю проволоку къ зажимному винту *e*. Отъ *e* онъ идетъ черезъ обмотки электромагнита M къ *f*, а оттуда обратно къ элементу. Когда токъ идетъ вокругъ электромагнита, послѣдній намагничивается и притягиваетъ къ себѣ якорь *n*. Этотъ послѣдній соединенъ съ пружиной *o* и *p*, такъ что въ то же время пружина *p* отодвигается отъ платиноваго острія *c*. Благодаря этому, токъ прерывается, такъ какъ электромагнитъ уже перестаетъ быть магнитнымъ. Пружина быстро отскакиваетъ кверху и снова приходитъ въ соединеніе съ *c*, что влечетъ за собою новое появленіе только что описаннаго процесса. Въ этомъ приборѣ происходитъ само собою поперемѣнное замыканіе и размыканіе тока, а потому и колебательное взадъ и впередъ движеніе якоря.

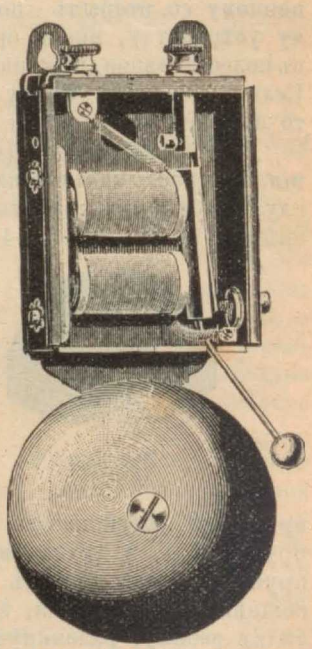


Рис. 52

Молоточекъ Нефа въ томъ видѣ, въ какомъ онъ только что былъ описанъ, примѣняется къ электрическимъ звонкамъ. Стоитъ только укрѣпить на колеблющемся взадъ и впередъ якорѣ язычекъ, который могъ бы ударять въ колокольчикъ,— и электрическій звонокъ готовъ. На рис. 52 изображенъ простѣйшій электрическій звонокъ. Онъ состоитъ изъ электромагнита съ якоремъ, на который насаженъ звонковый язычекъ. На якорѣ имѣется пружинящая пластинка, называемая пружиннымъ прерывателемъ, которая можетъ приходить въ соприкосновеніе съ остріемъ или разъединяться съ нимъ. Токъ отъ одного полюса элемента подходитъ къ одному изъ зажимовъ, представленныхъ на верху прибора, идетъ черезъ электромагнитъ, отъ послѣдняго къ острію и, черезъ пружинный прерыватель, къ другому зажиму, соединенному со вторымъ полюсомъ элемента. Благодаря такому устройству, якорь приходитъ, какъ это было объяснено, въ колебательное движеніе, и язычекъ ударяетъ въ колокольчикъ. Если проводникъ между элементомъ и зажимами разомкнутъ, то звонокъ, конечно, не дѣйствуетъ.

Для произвольнаго (хотя бы изъ другой комнаты) замыканія или размыканія тока, идущаго отъ элемента къ звонку, служатъ хорошо извѣстныя кнопки: рис. 53 изображаетъ ихъ внѣшній видъ, а рис. 54—ихъ внутреннее устройство. Одна

Рис. 53

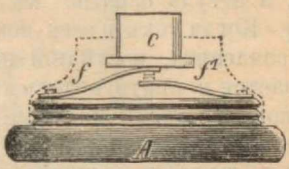


Рис. 54

проволока, идущая отъ элемента въ комнату, соединена съ пружиной f, а другая идетъ отъ пружины f^1 къ звонку. Обѣ пружины, какъ f, такъ и f^1 въ обыкновенномъ состояніи разобщены между собой, а потому и цѣпь, идущая отъ элемента къ звонку, разомкнута. Нажимая кнопку c изъ слоновой кости, мы даемъ возможность току пройти отъ элемента черезъ f и f^1 къ звонку, и послѣдній начинаетъ дѣйствовать.

Чтобы имѣть возможность изъ любого числа комнатъ заставить звонокъ звучать, нужно, чтобы въ каждой комнатѣ

было по такой кнопкѣ. Всѣ эти кнопки соединены параллельно. Одинъ полюсъ Z батареи ZK соединенъ, какъ показываетъ рис. 55, со звонкомъ W; отъ второго же зажима звонка, равно какъ и отъ второго полюса K батареи, идутъ по всѣмъ комнатамъ дома, изъ которыхъ хотятъ давать звонки, двѣ отдѣльныхъ проволоки. Во всякой комнатѣ, напр., въ D_1, отъ каждаго изъ этихъ проводниковъ отвѣтвляется по проволокѣ, идущей къ кнопкѣ D_1 съ подвижнымъ контактомъ a_1. То же дѣлается въ комнатахъ D_2, D_3 и т. д. Если, напр., нажать

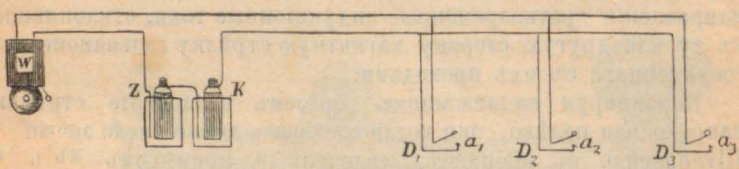


Рис. 55

кнопку въ D_3, то токъ пойдетъ къ Z черезъ W, a_3 и D_3 къ K. Такимъ образомъ элементъ и звонокъ будутъ соединены между собой, и колокольчикъ начинаетъ звонить.

Но самымъ важнымъ примѣненіемъ электромагнитныхъ дѣйствій тока является то, которое служитъ для быстрой передачи разнаго рода извѣстій на далекія разстоянія. Мы говоримъ о телеграфіи и телефоніи. Посредствомъ проволокъ токъ, дѣйствительно, можно провести какъ угодно далеко, а съ его помощью можно въ мѣстахъ, удаленныхъ на очень большія разстоянія, производить любыя движенія, заставляя его дѣйствовать тамъ на магнитныя стрѣлки или проходить вокругъ мягкаго желѣза.

Вначалѣ опыты телеграфированія электрическимъ путемъ были очень нецѣлесообразны, такъ какъ думали, что для всякой буквы, которую надо протелеграфировать, требуется особая проволока. Когда Наполеону I былъ предложенъ проектъ подобнаго телеграфа, онъ въ шутку назвалъ его «нѣмецкой штукой». Но когда, благодаря Гауссу, убѣдились, что всѣ наши буквы можно очень удобно выразить всего лишь двумя знаками, идея электрическаго телеграфа стала практически выполнимой. Послѣ многочисленныхъ болѣе или менѣе непрактичныхъ попытокъ два нѣмецкихъ профессора, Гауссъ и Веберъ, впервые разговаривали въ Гёттингенѣ, въ 1833 г., по

телеграфу; не служитъ ли это доказательствомъ, что подымаемые такъ часто на смѣхъ за свою непрактичность профессора могутъ изобрѣсти иногда нѣчто дѣйствительно весьма практичное. Они соединили между собой магнитную обсерваторію и физическій кабинетъ двумя проволоками, общая длина которыхъ равнялась 300 метровъ; по этимъ проводникамъ они могли переговариваться, такъ сказать, электромагнитно, если кто либо изъ нихъ вставлялъ въ магнитъ катушку, соединенную съ проволочными проводниками, или вынималъ его изъ нея. При этомъ всякій разъ возникали въ томъ или иномъ направленіи кратковременные индукціонные токи, отклонявшіе въ ту или другую сторону магнитную стрѣлку гальванометра, соединеннаго съ ихъ проводами.

Комбинируя надлежащимъ образомъ отклоненіе стрѣлки направо или налѣво, они могли составить любое число знаковъ. Штейнгейль въ Мюнхенѣ, увлеченный примѣромъ Гаусса, усовершенствовалъ этотъ электромагнитный телеграфъ со стрѣлкой, значительно упростивъ манипуляціи при подачѣ знаковъ. Производя опыты между Нюренбергомъ и Фюртомъ, Штейнгейль случайно сдѣлалъ наблюденіе, что вовсе не нужно соединять обѣ станціи двумя проволоками, а можно пользоваться землей, какъ однимъ изъ проводниковъ. На каждой станціи нужно только отвести конецъ проводника въ землю и зарыть его тамъ; тогда токъ протекаетъ между обѣими станціями черезъ землю, служащую для него провóдникомъ. Итакъ, между обѣими станціями нужна только одна проволока. Мнѣніе Штейнгейля о проводимости земли, по которому послѣдняя служитъ непосредственнымъ проводникомъ тока, неправильно. Но открытіе Штейнгейля все же остается несомнѣннымъ фактомъ, благодаря которому телеграфія пріобрѣла такъ быстро повсемѣстное распространеніе: разъ можно съэкономить половину проволочныхъ проводниковъ, то это, конечно, сильно понижаетъ стоимость телеграфа.

Почти всѣ изъ многочисленныхъ разнообразныхъ системъ телеграфовъ вытѣснены въ настоящее время чернопишущимъ аппаратомъ Морза и печатающимъ Юза. Мы займемся здѣсь разсмотрѣніемъ только перваго изъ нихъ.

Въ системѣ Морза знаки подаются болѣе короткимъ или болѣе продолжительнымъ замыканіемъ тока, протекающаго между обѣими, соединенными проводами, станціями. На станціи отправленія находится батарея, дающая токъ, который

идетъ по проводамъ на другую станцію. На той же станціи отправленія имѣется еще приборъ, посредствомъ котораго создаваемый батареей токъ можно по желанію замыкать и размыкать. Приборъ этотъ называется ключомъ Морза. Такимъ образомъ, со станціи отправленія токъ идетъ на другую станцію, гдѣ онъ возбуждаетъ электромагнитъ, притягивающій благодаря этому свой якорь. Движеніемъ этого послѣдняго пользуются для того, чтобы печатать или писать знаки на полоскѣ бумаги.

Ключъ Морза очень простъ; онъ изображенъ на рис. 56.

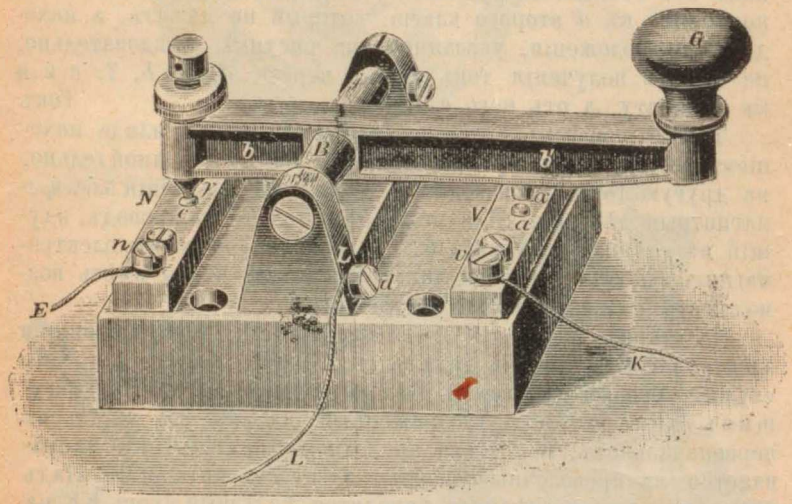


Рис. 56

Металлическій рычагъ bb^1 можетъ вращаться вокругъ оси B; посредствомъ кнопки G его можно прижать книзу или отпустить. Если онъ отпущенъ, какъ на рисункѣ, то своимъ копчикомъ γ онъ прикасается къ металлической кнопкѣ c, находящейся на металлической же полоскѣ, тогда какъ другой его конецъ α свободно изолированъ въ воздухѣ. Если же рычагъ bb^1, напротивъ того, прижатъ книзу, то штифтъ α приходитъ въ соприкосновеніе съ кнопкой a, находящейся также на металлической полоскѣ, а γ и c не соединены между собой. Проводъ L, соединяющій обѣ станціи, прикрѣпленъ къ оси

въ d, тогда какъ передняя полоска V соединяется v съ полюсомъ К, а задняя N—при n черезъ телеграфный аппаратъ съ землею Е. Другой полюсъ батареи также уведенъ въ землю.

Если ключъ на станціи отправленія находится въ томъ положеніи, какое указано на рисункѣ, то отъ него черезъ провода не идетъ тока, такъ какъ цѣпь разомкнута; если же ключъ нажатъ, то отъ полюса К элемента токъ идетъ черезъ v, a, b', В и d въ проводъ L и попадаетъ благодаря этому на вторую станцію. Тамъ, конечно, стоитъ такой же ключъ, такъ какъ обѣ станціи оборудованы совершенно одинаково. Токъ подходитъ къ d второго ключа, который не нажатъ, а находится въ положеніи, указанномъ на рисункѣ. Слѣдовательно, на станціи полученія токъ идетъ черезъ d, В, b, Y, c и n къ аппарату, а отъ него въ землю.

Такимъ образомъ, простымъ нажатіемъ рукою или отпусканіемъ ключа можно пускать или не пускать съ одной станціи на другую токъ, производящій на станціи полученія электромагнитныя дѣйствія. Для этого надо только въ проводъ, идущій на станціи полученія отъ n къ землѣ, включить электромагнитъ соотвѣтственнаго аппарата Морза, чтобы имѣть возможность дѣлать необходимое соединеніе.

На станціи полученія этими отдѣльными, возбуждающими электромагнитъ, токами должны подаваться знаки, для чего служитъ особый аппаратъ Морза (называемый также пишущимъ аппаратомъ), изображенный на рис. 57 въ своемъ первоначальномъ, но весьма наглядномъ видѣ. Токъ направляется въ проволочные обороты электромагнита ММ. Надъ полюсами этого послѣдняго находится желѣзный якорь КК на рычагѣ Н, могущемъ вращаться вокругъ оси b и имѣющемъ на одномъ изъ концовъ L остріе. При всякомъ обратномъ движеніи якоря внизъ остріе поднимается кверху и наноситъ на проходящую мимо него полоску бумаги знакъ. Если токъ очень коротокъ, то магнитъ возбуждается только на моментъ, на одинъ моментъ притягивается и якорь, а въ такомъ случаѣ остріе дѣлаетъ на бумажной полоскѣ точку. Если же токъ идетъ въ теченіе болѣе или менѣе продолжительнаго времени, то мимо штифта проходитъ бо́льшая часть бумаги, на которой благодаря этому появляется штрихъ. Изъ точекъ и штриховъ составляется алфавитъ Морза. Такимъ простымъ способомъ на пишущемъ аппаратѣ получаются знаки. Бумажная лента на-

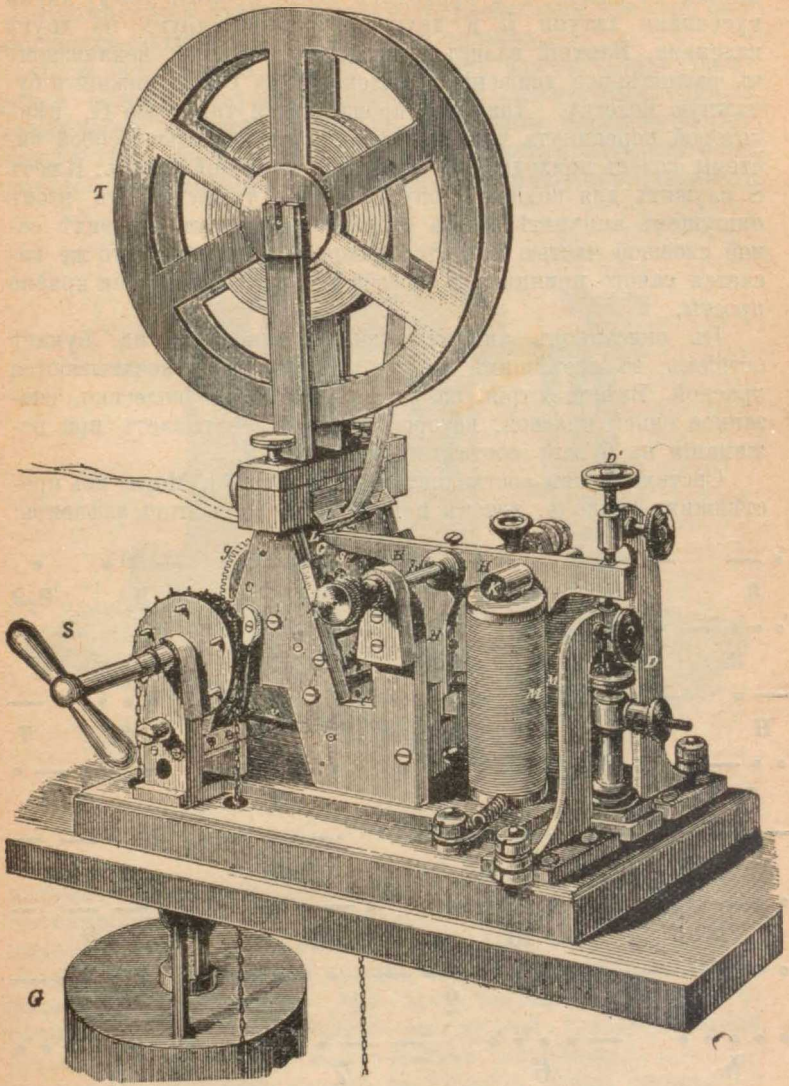
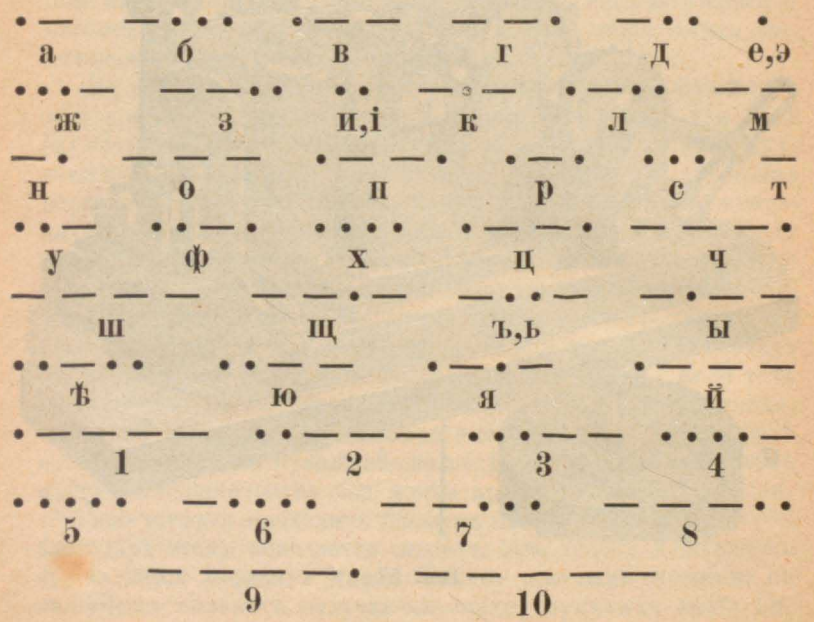


Рис. 57

мотана на колесо T и проходитъ черезъ прорѣзъ между двумя кусочками латуни *ll* и двумя лежащими другъ на другѣ валиками. Верхній валикъ приводится часовымъ механизмомъ въ равномѣрное движеніе и увлекаетъ за собою нижній и бумажную полоску. Движеніе производится тяжестью G, цѣпь которой перекинута черезъ колесо, а съ помощью особой системы колесъ приходитъ во вращеніе и верхній валикъ. Ключъ S служитъ для поднятія опустившейся тяжести. Въ этомъ пишущемъ аппаратѣ Морза въ первоначальномъ его видѣ самой сложной частью является часовой механизмъ; что же касается самого принципа и способа употребленія, то они крайне просты.

Въ описанномъ аппаратѣ знаки наносятся на бумагѣ остріемъ; въ новѣйшихъ же аппаратахъ они отпечатываются краской. Вмѣсто острія, на рычагѣ укрѣплено колесико, смазанное синей краской, которой оно и отпечатываетъ при нажиманіи на бумагу соотвѣтственные знаки.

Система буквъ составляется въ телеграфѣ Морза изъ простѣйшихъ знаковъ, точекъ и штриховъ. Вотъ этотъ алфавитъ:



Кромѣ этихъ буквъ, во всѣхъ государствахъ принято еще множество отдѣльныхъ служебныхъ знаковъ.

Если обѣ станціи имѣютъ по одному ключу, одной батареѣ и одному пишущему аппарату, то онѣ могутъ сноситься между собою по телеграфу только съ помощью алфавита Морза. Между тѣмъ этотъ послѣдній скоро начинаетъ представлять нѣкоторыя затрудненія. Электромагнитамъ пишущаго аппарата

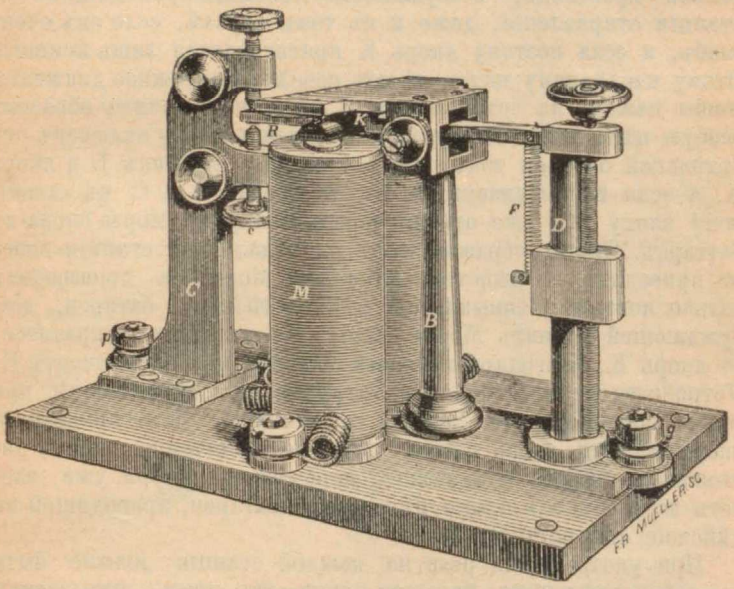


Рис. 58

нуженъ, вообще говоря, порядочно сильный токъ, чтобы они были въ состояніи притягивать якорь настолько, чтобы штифтъ могъ наносить достаточно замѣтные знаки. При большомъ же разстояніи другъ отъ друга обѣихъ станцій сопротивленіе проводовъ настолько велико, что для сильнаго возбужденія на одной станціи электромагнита—на другой требуется очень большая батарея изъ гальваническихъ элементовъ.

Поэтому Витстонъ первый предложилъ очень остроумный способъ для устраненія такого затрудненія. Онъ устроилъ такимъ образомъ, что токъ, протекающій по всей линіи, воз-

буждаетъ не непосредственно электромагнитъ аппарата Морза, но другой, находящійся на станціи же, магнитъ, якорю котораго надо дѣлать только весьма ничтожное движеніе, чтобы замкнуть особый токъ, который тогда, въ свою очередь, приведетъ въ дѣйствіе аппаратъ Морза. Подобный приборъ называется *релэ*; онъ изображенъ на рис. 58. Его электромагнитъ M, окруженный очень большимъ числомъ оборотовъ тонкой проволоки, возбуждается токомъ, приходящимъ со станціи отправленія, даже и въ томъ случаѣ, если онъ очень слабъ, и если поэтому якорь K притягивается лишь немного. Этому послѣднему надо сдѣлать совсѣмъ ничтожное движеніе, чтобы нажать на остріе винта R и замкнуть такимъ образомъ особую цѣпь тока. На станціи полученія при *g* включенъ отъ отдѣльной батареи токъ, идущій черезъ столбикъ D и якорь K, а если K нажимаетъ на R, то черезъ R и C къ зажимному винту *p* и уже оттуда черезъ аппаратъ Морза снова къ баттареѣ. Такимъ образомъ токъ съ отдаленной станціи вовсе не приводитъ въ дѣйствіе аппаратъ Морза, а производитъ только контактъ, замыкающій цѣпь отдѣльной батареи, возбуждающей магнитъ Морза. Если токъ въ линіи прекратится, то якорь K, благодаря пружинѣ F, снова отскакиваетъ отъ R. Устройство релэ устраняетъ затрудненія, возникающія при телеграфированіи на далекія разстоянія. Для приведенія якоря релэ въ очень слабое движеніе достаточно самыхъ ничтожныхъ токовъ, а малѣйшее перемѣщеніе якоря уже влечетъ за собою замыканіе цѣпи тока батареи, приводящей въ дѣйствіе аппаратъ Морза.

При употребленіи релэ на каждой станціи должно быть по двѣ отдѣльныхъ батареи: одна изъ нихъ, называемая *линейной батареей*, создаетъ токъ, идущій къ другой станціи, а другая, *мѣстная батарея* предназначается для аппарата Морза. Изъ рис. 59 видно, какъ надо разставить всѣ приборы на обѣихъ станціяхъ и соединить между собой эти послѣднія. Линейная батарея обозначена буквами LB, мѣстная—OB. Буквами Schr обозначенъ пишущій аппаратъ Морза, R—релэ, T—ключъ и P—зарытая въ землю пластинка. Если, напр., на станціи II нажимаютъ ключъ, т. е. телеграфируютъ, то токъ отъ одного полюса линейной батареи II направляется къ ключу I черезъ ключъ II и проводъ L. Отъ ключа I онъ идетъ вокругъ релэ R къ пластинкѣ P, а оттуда черезъ землю возвращается на станцію отпра-

вленія. При возбужденіи релэ его якорь притягивается, а благодаря этому замыкается цѣпь тока мѣстной батареи, и пишущій аппаратъ приводится въ дѣйствіе.

Двѣ находящіяся на поверхности земли станціи могутъ быть соединены между собой или воздушными проводами, или подземными. Для воздушныхъ проводовъ въ настоящее время употребляютъ проволоку въ 4 мм. толщиною изъ желѣза или

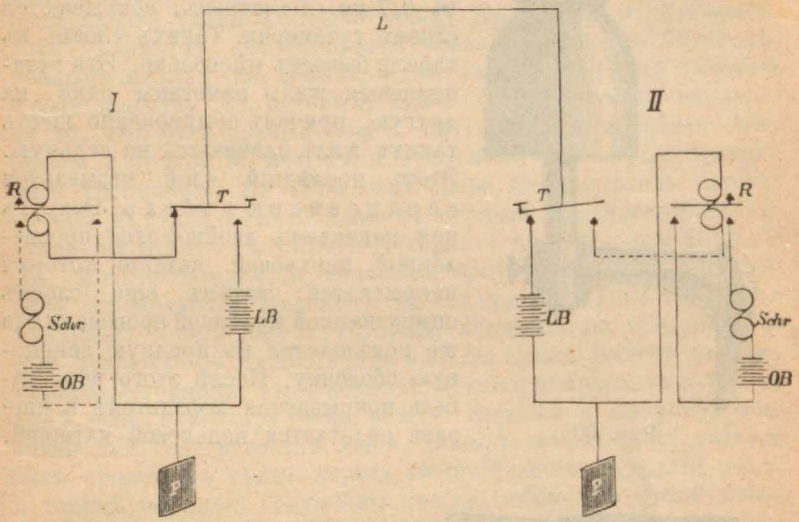


Рис. 59

кремневой бронзы. На большихъ же линіяхъ поперечное сѣченіе проволоки бываетъ и въ 5 мм. Проволока, конечно, должна имѣть хорошую проводимость и быть изолированной. Чтобы достигнуть надежной изоляціи въ мѣстахъ закрѣпленія, обыкновенно пользуются деревянными столбами, а проволоки закручиваютъ на изолирующіе фарфоровые колокольчики, внѣшній видъ которыхъ изображенъ на рис. 60.

Гораздо труднѣе сдѣлать между двумя станціями подземную проводку. Въ этихъ случаяхъ проволоки надо класть во влажную почву или въ жидкія массы, а для достаточной въ нихъ изоляціи и для предохраненія проволокъ отъ порчи подъ вліяніемъ влажности ихъ надо обернуть изолирующимъ веще-

ствомъ, имѣющимъ весьма большое сопротивленіе. Для этого пользуются кабелями.

Для кабелей употребляются исключительно мѣдныя проволоки, причемъ вмѣсто одной толстой берутъ нѣсколько тонкихъ проволокъ, соединенныхъ между собою параллельно, какъ это показано на рис. 61, изображающемъ отдѣльныя части кабеля. Эти тонкія мѣдныя проволоки, обыкновенно въ 0,7 мм. діаметромъ, покрываются слоемъ гутаперчи. Такихъ слоевъ въ кабелѣ бываетъ нѣсколько. Эти гутаперчевыя жилы намотаны одна на другую, причемъ обыкновенно шесть такихъ жилъ навиваютъ на седьмую. Этотъ послѣдній слой называется сердцевиною кабеля. Вокругъ нея навиваютъ двойной слой просмоленной пеньковой матеріи, которая покрывается затѣмъ еще слоемъ оцинкованной желѣзной проволоки или же помѣщается въ прочную свинцовую оболочку. Послѣ этого весь кабель покрывается асфальтомъ и еще разъ оплетается пеньковой матеріей.

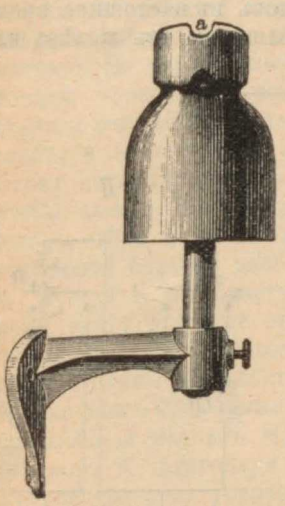


Рис. 60

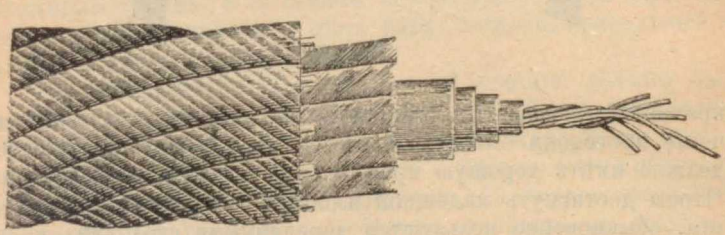


Рис. 61

Хотя первыя телеграфныя линіи возникли въ Германіи еще въ 1830 году, а съ 1843 года телеграфія стала развиваться повсемѣстно настолько быстро, что черезъ нѣсколько десятилѣтій уже всѣ страны были покрыты сѣтью телеграфныхъ линій, однако мысль о прокладкѣ подземныхъ прово-

довъ, явившаяся впервые у Витстона, кажется, въ 1843 г., осуществилась въ широкихъ предѣлахъ лишь гораздо позже. Скоро стали класть подводные кабели на короткія разстоянія, и уже въ 1852 году были соединены телеграфной линіей Англія и Ирландія. Но прокладка кабеля черезъ Атлантическій океанъ между Европой и Америкой, послѣ цѣлаго ряда безуспѣшныхъ попытокъ, была окончена лишь въ 1866 году. Неудачныя попытки начались съ 6-го августа 1857 года, когда была начата укладка кабеля между Ирландіей и Америкой. Уже 11 августа онъ оборвался приблизительно въ 70-ти нѣмецкихъ миляхъ отъ берега, и все же въ 1858 году начались новыя попытки, въ которыхъ было обращено особое вниманіе на то, что далъ первый опытъ. И опять одинъ кабель оборвался, а другой по истеченіи небольшого промежутка времени былъ разрушенъ. Въ 1864 году снова былъ сдѣланъ кабель въ 600 нѣмецкихъ миль длиною, который и удалось благополучно проложить съ «Гритъ-Истерна»; но скоро (въ 1865 г.) онъ опять оборвался, и оборвался среди океана, въ 250 миляхъ отъ Ирландіи. Наконецъ въ слѣдующемъ 1866 году былъ проложенъ новый кабель, который, несмотря на многочисленныя поврежденія, существуетъ и по сіе время. Вмѣстѣ съ тѣмъ «Гритъ-Истерномъ» былъ поднятъ со дна и исправленъ и кабель 1865 года, благодаря чему между Европой и Америкой возникли двѣ телеграфныхъ линіи. Вскорѣ затѣмъ рядъ кабелей былъ проложенъ также черезъ Великій океанъ и другія моря, и такимъ образомъ соединены между собою всѣ части цивилизованнаго міра. Почти вся сѣть кабелей, благодаря міровой политикѣ Англіи, находится подъ ея контролемъ. Большинствомъ кабелей владѣютъ англійскія общества. Теперь есть свой кабель и у Германіи, проложившей его отъ Эмдена до Америки. Обладаніе почти всѣми кабелями гарантируетъ Англіи большія преимущества при всякаго рода морскихъ столкновеніяхъ и въ значительной степени содѣйствуетъ прочности англійскаго могущества.

Громадная быстрота, съ которой можно съ помощью телеграфа передавать сигналы, привела къ цѣлому ряду примѣненій телеграфовъ для различныхъ цѣлей. Особенно же полезными являются всевозможныя услуги, оказываемыя телеграфіей желѣзнодорожному дѣлу, какъ при подачѣ сигналовъ, такъ и для передачи тѣхъ или иныхъ распоряженій. Однако примѣненія этой области техники далеко не безконечны.

Телеграфія давно уже удовлетворяетъ потребности людей ко взаимному между собою сообщенію, позволяя передавать очень быстро всякаго рода извѣстія отъ одного лица къ другому, находящемуся отъ перваго на большомъ разстояніи. Но для этого всегда нужны посредники, которые умѣли бы обращать слова въ телеграфные знаки и телеграфные знаки въ слова. Такое ограниченіе пало съ изобрѣтеніемъ телефона, позволяющаго передавать на далекія разстоянія самыя слова и дающаго, слѣдовательно, возможность какъ говорить вдаль, такъ и слышать издалека.

Телефонъ, въ томъ видѣ, въ какомъ онъ въ теченіе немно-

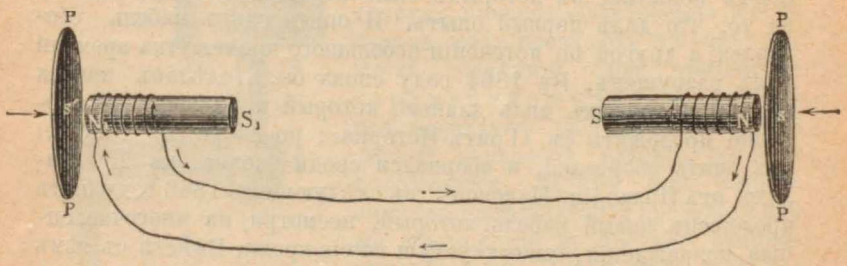


Рис. 62

гихъ лѣтъ занялъ у человѣчества одно изъ самыхъ главныхъ мѣстъ среди различныхъ способовъ общенія, представляетъ собою геніальнѣйшій изъ всѣхъ извѣстныхъ въ физикѣ приборовъ, тѣмъ болѣе удивительный, что конструкція его необычайно проста. Этимъ изобрѣтеніемъ мы обязаны американцу Грему Беллю.

Задача телефоніи состоитъ въ томъ, чтобы съ помощью электричества передавать на значительное разстояніе звуки и слова. Звуки есть не что иное, какъ колебанія звучащаго тѣла, т. е. особый родъ движенія. Задача передачи звуковъ сводится такимъ образомъ къ передачѣ электрическимъ путемъ колебательнаго движенія. Въ нѣкоторомъ мѣстѣ на станціи нужно привести въ быстрое колебательное движеніе какое либо тѣло; это движеніе должно создать электрическіе токи, идущіе къ другой станціи, на которой такіе токи снова вызываютъ колебательныя движенія и производятъ звуки.

На схематическомъ рис. 62 очень ясно видно, какимъ обра-

зомъ Белль разрѣшилъ эту проблему, пользуясь самыми простыми средствами. Вспомнимъ только объ открытіи Фарадеемъ магнитной индукціи, благодаря которой, всякое измѣненіе положенія и силы магнита создаетъ въ находящейся вблизи его замкнутой цѣпи индукціонный токъ. Это дѣйствіе индукціи распространяется и на ничтожнѣйшія измѣненія, сохраняясь даже при тѣхъ незначительныхъ измѣненіяхъ, которымъ подвергается положеніе находящейся противъ проволочной катушки магнитной желѣзной пластинки, когда эта послѣдняя приходитъ въ звуковыя колебанія. На рисункѣ изображены два стальныхъ магнита NS и N_1S_1, обвитыхъ на полюсахъ N и N_1 проволокой, соединяющей между собой оба магнитныхъ стержня. Передъ каждымъ сѣвернымъ полюсомъ, въ недалекомъ отъ него разстояніи, находится тонкая пластинка изъ мягкаго желѣза, которую надо представить себѣ закрѣпленной по окружности. На той сторонѣ этихъ пластинокъ, которыя обращены къ магнитамъ, подъ вліяніемъ этихъ послѣднихъ возбуждаются южные полюсы s и s_1. Если одну изъ желѣзныхъ пластинокъ, напр. s, слегка нажать рукой, то южный полюсъ приблизится благодаря этому къ магниту и окружающей его обмоткѣ. Въ послѣдней возникнетъ поэтому индукціонный токъ, который пойдетъ по проволокѣ къ другому сѣверному полюсу N_1, и усилитъ его, такъ какъ проходитъ по направленію, обратному движенію часовой стрѣлки. Поэтому пластинка s_1, подъ вліяніемъ усилившагося дѣйствія сѣвернаго полюса N_1 слегка притянется къ нему. Слѣдовательно, въ тотъ моментъ, когда s будетъ слегка придвинуто къ N_1, немного притянется и s^1 къ N_1; а еслибы s немного отошло отъ N_1, то сейчасъ то же произошло бы и съ s_1 по отношенію къ N_1. Итакъ, всякому, даже незначительному движенію s соотвѣтствуетъ такое же движеніе s^1. Если противъ пластинки s начать говорить, то она придетъ въ очень слабыя движенія и начнетъ чуть-чуть колебаться. Всякое колебаніе создастъ индукціонный токъ, а потому и вызоветъ такое же колебаніе въ пластинкѣ s^1. Такія

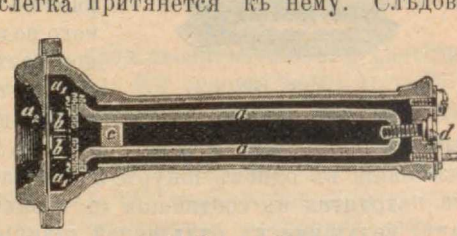


Рис. 63

колебанія пластинки s_1 сообщаются затѣмъ воздуху, и такимъ образомъ въ s^1 можно слышать то, что говорится въ s.

На практикѣ телефонъ устраивается по только что описанной схемѣ. Само собой разумѣется, что вмѣсто стержневого магнита можно пользоваться подковообразнымъ. На рис. 63 изображено внутреннее устройство обыкновенно употребляющагося телефона. На немъ видно, что въ особомъ деревянномъ футлярѣ лежитъ подковообразный магнитъ; его полюсы снабжены такъ называемыми полюсными наконечниками a_1, a_1, подходящими очень близко одинъ къ другому и обвитыми проволоками, соединяющимися между собой такимъ образомъ, что возбужденные въ нихъ токи дѣйствуютъ вмѣстѣ. Въ нижней своей части магнитъ закрѣпленъ тонко нарѣзаннымъ винтомъ d, съ помощью котораго его можно приближать къ желѣзной пластинкѣ a_2, вдѣланной краями въ деревянный футляръ, или удалять отъ нея, чѣмъ достигается наибольшее дѣйствіе. Желѣзной пластинкой закрывается раструбъ телефона, и потому можно говорить какъ разъ на нее. Внѣшній видъ такого подковообразнаго телефона показанъ на рис. 64. Концы проволоки, обматывающей и соединяющей между собой полюсныя катушки, выходятъ изъ футляра и, пройдя нѣкоторое разстояніе въ одномъ шнурѣ, идутъ затѣмъ отдѣльно. Концы эти находятся въ соединеніи съ обоими проволочными проводами, ведущими къ отдаленной станціи, на которой замыкаются совершенно такимъ же телефономъ, такъ что на второй станціи слышатъ уже описаннымъ путемъ то, что говорится въ телефонъ на первой.

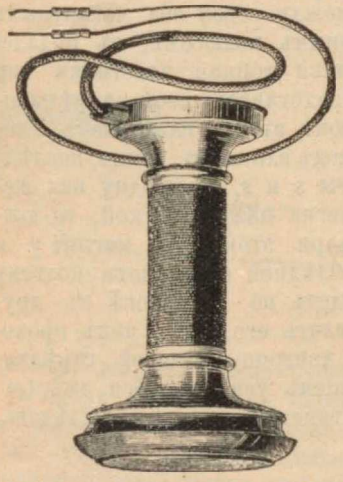


Рис. 64.

Телефонъ прекрасно передаетъ рѣчь, сохраняя даже, вообще говоря, тембръ и присущую голосу окраску звука. Что же касается силы воспроизводимаго на станціи полученія звука, то она, конечно, должна быть гораздо слабѣе силы звука

передаваемаго со станціи отправленія. Энергія движенія пришедшихъ въ колебаніе воздушныхъ частицъ должна прежде всего сообщиться первой желѣзной пластинкѣ, отъ чего уже теряется значительная часть ея. При обращеніи этого движенія въ электрическій токъ теряется еще часть энергіи, а при новомъ обращеніи тока въ движеніе происходитъ еще потеря энергіи. Отсюда ясно, что звукъ, получающійся на второй станціи послѣ цѣлаго ряда превращеній, долженъ имѣть силу, значительно меньшую силы звука, подаваемаго на станціи отправленія, если не употреблять для его усиленія особыхъ вспомогательныхъ средствъ.

Такое средство было найдено американцемъ Юзомъ въ построенномъ имъ микрофонѣ. Способъ дѣйствія телефона заключается главнымъ образомъ въ томъ, чтобы чрезъ посредство передаваемыхъ звуковъ въ силѣ тока происходили нѣкоторыя періодическія измѣненія, обращающіяся, благодаря магниту, въ новыя періодическія движенія на второй станціи. Но въ телефонѣ чрезъ посредство передаваемыхъ словъ не только происходятъ измѣненія въ силѣ тока, а благодаря имъ, вызываются и сами токи. Очевидно, это—лишнее. Если уже имѣется токъ, напр. отъ гальваническаго элемента, то съ помощью словъ и звуковъ надо только вызвать нѣкоторыя колебанія въ силѣ тока, которыя черезъ посредство телефона можно обратить снова въ слова. Это-то и производитъ изобрѣтенный Юзомъ микрофонъ. Въ немъ колебанія тока происходятъ подъ вліяніемъ мѣняющагося контакта между угольными стерженьками.

Намъ извѣстно, что уголь представляетъ для электричества довольно большое сопротивленіе. Мы знаемъ также (стр. 38), что сопротивленіе это очень сильно измѣняется отъ нажатія. Идея Юза заключалась въ томъ, чтобы приводить съ помощью звуковыхъ движеній въ болѣе или менѣе тѣсное между собой соприкосновеніе два угольныхъ стержня, которые чуть-чуть касаются другъ друга, и черезъ которые проходитъ токъ, и подвергать, такимъ образомъ, значительнымъ измѣненіямъ ихъ сопротивленіе, а слѣдовательно, и силу тока въ цѣпи. Очень нетрудно показать, что самыя ничтожныя надавливанія двухъ углей другъ на друга создаютъ весьма значительныя колебанія тока, и что благодаря этому телефонъ можетъ звучать гораздо громче. На рис. 65 изображено надлежащее для того приспособленіе. Отъ элемента токъ идетъ черезъ уголь *b*, затѣмъ

черезъ лежащій на немъ уголь *c* къ другому углю *b*, а отъ послѣдняго направляется въ обмотку телефона и возвращается обратно въ элементъ. Пока угольный стерженекъ *c* лежитъ совсѣмъ спокойно на *b*, конечно, ничего не слышно, потому что сила тока остается постоянной. Но малѣйшее движеніе *c*,—напр., даже движеніе, обусловливаемое тѣмъ, что на ящичекъ A сядетъ муха,—тотчасъ же вызываетъ очень сильныя колебанія тока, а благодаря этому телефонный магнитъ осла-

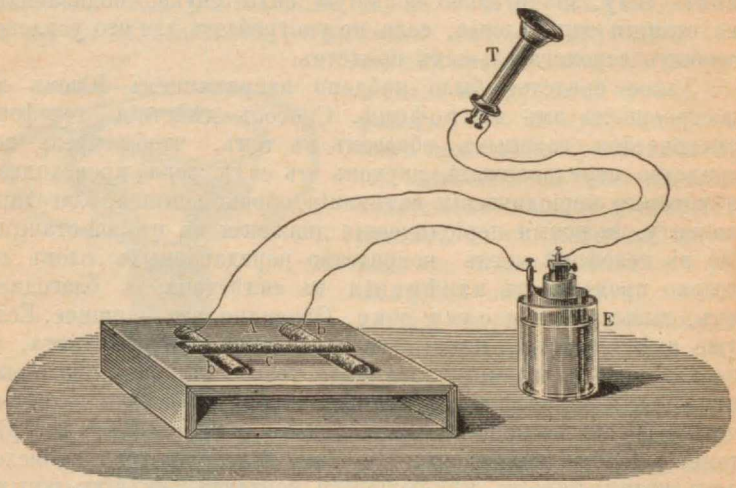


Рис. 65

бляется и усиливается, и въ телефонѣ слышится громкій шумъ. Такой приборъ, состоящій изъ пары не скрѣпленныхъ, но соприкасающихся между собою угольковъ, укрѣпленныхъ на звучащей пластинкѣ, называется микрофономъ.

Онъ представляетъ собою, слѣдовательно, простое средство для произведенія въ телефонѣ очень значительныхъ колебаній тока. Нужно только пропустить черезъ телефонъ и микрофонъ гальваническій токъ отъ элемента E и говорить тогда на микрофонъ. Въ такомъ случаѣ въ телефонѣ воспроизводятся звуки весьма большой силы. При этомъ, конечно, микрофонъ можетъ быть на одной станціи, а телефонъ—на другой. Такое приспособленіе Юза отличается отъ беллевскаго вдвойнѣ. При устройствѣ телефона по Беллю для разговора и слушанія

употребляются два одинаковыхъ прибора. Какъ передатчикъ, такъ и пріемникъ—оба суть простые телефоны. Въ юзовской же системѣ передатчикомъ служитъ не телефонъ, а микрофонъ. Второе отличіе состоитъ въ томъ, что при беллевской системѣ не нужно гальваническаго элемента. Рѣчь возбуждаетъ въ первомъ телефонѣ индукціонные токи, приводящіе въ дѣйствіе второй. Въ юзовской же системѣ въ цѣпи тока долженъ находиться микрофонъ, черезъ который идетъ отъ элемента токъ. Рѣчь служитъ для того, чтобы усиливать или ослаблять опредѣленнымъ образомъ силу этого, уже существующаго, тока.

Въ настоящее время почти повсюду въ Германіи уста-

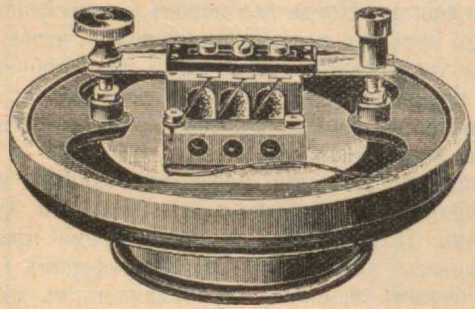


Рис. 66

новлены микрофоны, построенные по принципу Юза въ томъ видѣ, какой данъ на рис. 66. Угли находятся въ кругломъ футлярѣ, закрытомъ спереди деревянной пластинкой, къ которой придѣланъ раструбъ. Внутри футляра имѣются два перпендикулярныхъ угольныхъ стерженька съ тремя дырочками, сквозь которыя пропускаются три легко движущіяся угольныя палочки. Всѣ онѣ прижаты къ деревянной пластинкѣ тонкими пружинками. Въ оба стержня подводится отъ элемента токъ.

При соединеніи двухъ станцій выгодно, чтобы идущій отъ элемента первой станціи и протекающій черезъ ея микрофонъ токъ посылался не прямо на отдаленную станцію черезъ телефонъ этой послѣдней. Въ микрофонѣ токъ долженъ имѣть не немалую силу, чтобы были значительны и колебанія тока, а въ длинныхъ проводахъ онъ ослаблялся бы очень

сильно. Поэтому токъ отъ элемента на станціи отправленія посылаютъ черезъ микрофонъ прямо въ первичную обмотку индукціонной катушки (стр. 21). Индукціонные токи, возбужденные во вторичной обмоткѣ этой катушки, идутъ затѣмъ по проводамъ ко второй станціи и черезъ ея телефонъ. Тогда соединеніе таково, что на каждой станціи элементъ замыкается соотвѣтственнымъ микрофономъ и первичной обмоткой индукціонной катушки; оба же телефона и соотвѣтственныя вторичныя обмотки на обѣихъ станціяхъ соединены проводомъ вмѣстѣ.

Гальваническимъ элементомъ къ цѣпи микрофона служитъ обыкновенно элементъ Лекланше, который очень силенъ, долго дѣйствуетъ и дешевъ. Когда телефономъ и микрофономъ не пользуются, надо, конечно, разомкнуть элементъ, чтобы онъ израсходовался не такъ быстро. Для этого цѣлесообразно устраивать особое приспособленіе. По окончаніи разговора телефонъ просто вѣшается на особый крючокъ, чѣмъ и достигается размыканіе цѣпи микрофона.

На практикѣ чрезвычайно необходимо давать передъ всякимъ разговоромъ громкій сигналъ, указывающій, что желаютъ телефонировать. Поэтому въ настоящее время при большинствѣ телефонныхъ установокъ съ микрофономъ пользуются еще электрическимъ звонкомъ, приводимымъ въ дѣйствіе особой батареей. На станціи отправленія нажимаютъ кнопку, замыкающую цѣпь тока, въ которую на второй станціи включенъ звонокъ. Необходимый для этого токъ доставляется звонковой батареей. Въ этомъ и заключается начальный сигналъ для второй станціи. Стоитъ только вызванному субъекту приставить къ уху свой телефонъ—и разговоръ можно уже вести черезъ этотъ послѣдній и микрофонъ.

Токъ отъ звонковой батареи на первой станціи долженъ, конечно, идти къ звонку на второй черезъ проводъ, соединяющій ихъ. Но, съ другой стороны, надо избѣгать, чтобы отъ этой батареи шелъ черезъ телефонъ сильный токъ, такъ какъ иначе его магниты слишкомъ усилились бы. Надо, слѣдовательно, имѣть приспособленіе, которое выполняло бы послѣдовательно слѣдующія функціи:

1) Замыканіе тока между звонковой батареей одной станціи и звонкомъ другой безъ включенія въ нее микрофона и телефона.

2) Размыканіе этой цѣпи.

3) Одновременное соединеніе микрофоновъ на каждой станціи съ ихъ элементами и телефоновъ обѣихъ станцій между собою.

Всѣ эти функціи должны выполняться такъ, чтобы не представлять на практикѣ затрудненій даже для лица, не обладающаго познаніями по физикѣ.

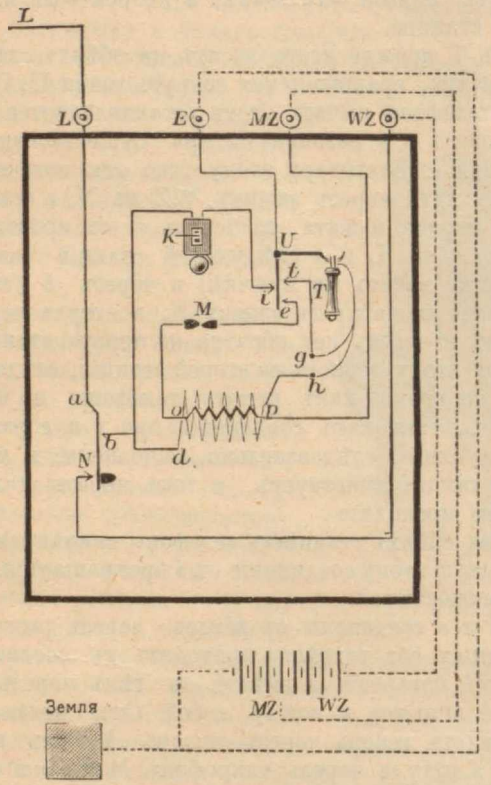


Рис. 67

Рис. 67 изображаетъ такое устройство въ томъ видѣ, въ какомъ пользуются имъ во многихъ телефонныхъ установкахъ. На рисункѣ изображены приборы: телефонъ Т, микрофонъ М, звонокъ К, индукціонныя катушки *op* и *dh*; здѣсь же находятся нажимная кнопка и телефонный крючокъ съ необходи-

мыми соединительными проводами; все это помѣщено въ ящикъ, означенный черною чертою. Подъ рамой изображена батарея, положительный полюсъ (уголь) которой соединенъ съ землею, тогда какъ послѣдняя и одна изъ среднихъ цинковыя пластинки соединены съ зажимами WZ и MZ у верхней части рамы. Два другихъ зажима сверху, означенные буквами E и L, ведутъ: первой—къ землѣ, а второй—къ проводу на отдаленную станцію.

Телефонъ T прежде всего виситъ на обѣихъ станціяхъ на ломаномъ рычагѣ, вращающемся вокругъ точки U. Подъ вліяніемъ вѣса телефона рычагъ этотъ устанавливается такъ, что соединенія при *t* и *e* разомкнуты при существованіи однако соединенія при *i*. Благодаря этому токъ отъ полюса WZ батареи можетъ идти черезъ зажимъ WZ къ N, а если находящаяся тамъ кнопка нажата, то черезъ *a* къ проводу L. Затѣмъ онъ идетъ къ L и *a* слѣдующей станціи (на которой телефонъ также виситъ на крючкѣ) и черезъ *b* (такъ какъ тамъ кнопка не нажата) къ звонку K, а оттуда черезъ *i*, U и E къ землѣ и черезъ нее обратно на первую станцію.

Благодаря этому звонокъ на второй станціи, слѣдовательно, звонитъ, въ то время какъ черезъ телефоны и микрофоны токъ не идетъ, такъ какъ соединенія при *t* и *e* разомкнуты.

Первая функція, слѣдовательно, выполнена, и звонокъ на отдаленной станціи дѣйствуетъ, а токъ черезъ телефоны и микрофоны не проходитъ.

Затѣмъ на обѣихъ станціяхъ телефоны снимаются съ крючковъ. Благодаря этому соединеніе съ *i* прекращается, и потому звонки K выключаются.

Теперь *t* и *e* соединены съ землею черезъ рычагъ и U. Благодаря этому оба телефона приходятъ въ соединеніе каждый со своей батареей, а вмѣстѣ съ тѣмъ черезъ проводъ телефоны соединяются и между собой. Отъ полюса MZ батареи токъ идетъ теперь черезъ зажимъ MZ къ первичной спирали *po*, а оттуда черезъ микрофонъ M къ *e* и черезъ U и E къ землѣ, къ которой отведенъ и другой полюсъ батареи. Вмѣстѣ съ тѣмъ отъ вторичной спирали черезъ *h*, *d*, *b* и *a* идутъ въ проводъ L къ точкѣ *b* на другой станціи индуктированные токи, откуда черезъ *d* направляются къ другой вторичной спирали, а затѣмъ черезъ *h* къ другому телефону T и черезъ *g*, *t* и U къ землѣ. Изъ земли токъ идетъ обратно къ земной пластинкѣ E первой станціи, а отъ нея

черезъ *t* въ телефонъ Т и затѣмъ обратно ко вторичной спирали.

Такимъ образомъ мы, слѣдовательно, достигли того, къ чему стремились. Звонокъ работаетъ, не оказывая вліянія на телефонъ, а этотъ послѣдній и микрофонъ дѣйствуютъ, не замыкая элементовъ звонковой батареи.

Единственно, что надо сдѣлать, это—нажать кнопку, снять телефонъ съ крючка и начать говорить.

Для болѣе отчетливаго воспринятія звуковъ на каждой станціи устанавливаютъ по два телефона, соединенныхъ либо послѣдовательно, либо параллельно.

Всѣ три прибора — телефонъ, микрофонъ и звонокъ—помѣщаются обыкновенно въ одномъ ящикѣ; такой ящикъ акціонернаго общества Микса и Генеста изображенъ на рис. 68.

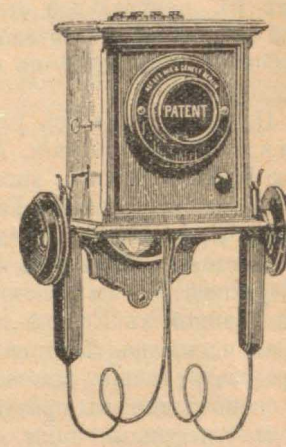


Рис. 68

Въ первое время на телефонъ стали возлагать очень большія надежды въ смыслѣ самыхъ разнообразныхъ его примѣненій. Подумывали и о томъ, что имъ можно вытѣснить, гдѣ только возможно, телеграфъ, разъ только онъ будетъ достаточно усовершенствованъ, чтобы черезъ него можно было передавать рѣчь на сколь угодно большое разстояніе. И все же пришлось сдѣлать очень много опытовъ, прежде чѣмъ удалось сдѣлать все возможное для пользованія имъ на весьма значительныхъ разстояніяхъ. Поэтому, прежде всего въ Америкѣ, телефономъ стали пользоваться не какъ конкурентомъ телеграфа, а какъ дополненіемъ къ нему. Телефонъ стали примѣнять для личнаго сообщенія между жителями отдѣльныхъ городовъ, что и принесло очень существенную пользу. По примѣру Америки, для внутренняго сообщенія телефономъ скоро стали пользоваться и въ Германіи, главнымъ образомъ въ большихъ ея городахъ. Мало по малу удалось распространить телефонное сообщеніе и на сношенія между собою различныхъ, довольно далеко другъ отъ друга отстоящихъ городовъ. Такимъ образомъ сталъ осуществляться и первоначаль-

ный идеалъ, сводившійся къ тому, чтобы можно было передавать рѣчь изъ устъ въ уста отъ одного лица къ другому.

Для городского телефона, при болѣе или менѣе большомъ числѣ абонентовъ, необходима центральная станція, которая выполняетъ все, что требуется для сообщенія. Иначе каждый абонентъ для разговора съ каждымъ другимъ абонентомъ долженъ былъ бы имѣть особый соединительный проводъ, что, не говоря уже о дороговизнѣ, было бы невозможно, такъ какъ потребовало бы проведенія множества проволокъ въ дома и надъ домами.

Поэтому отъ каждаго абонента идетъ одинъ только проводъ къ центральной станціи; обязанности служащихъ на этой послѣдней заключаются въ томъ, чтобы при каждомъ требованіи приводить въ сообщеніе между собою двухъ абонентовъ.

Понемногу удалось устроить и большія междугородныя телефонныя линіи. Въ Америкѣ телефономъ соединены Нью-Іоркъ и Чикаго, каковая линія имѣетъ длину, бо̀льшую 1.500 километровъ. Въ Германіи по телефону можно говорить между Бреславлемъ и Гамбургомъ и Мюнхеномъ и Берлиномъ на разстояніи, большемъ 650, а въ Австріи—между Прагою и Будапештомъ на разстояніи свыше 600 километровъ. Самой длинной въ Европѣ телефонной линіей является та, которая идетъ изъ Лондона черезъ Парижъ въ Марсель. Нѣкоторое затрудненіе, возникающее при телефонномъ сношеніи по очень длиннымъ проводамъ, заключается въ томъ, что при этомъ телефонные токи сильно ослабляются. Съ большимъ успѣхомъ пользуются въ послѣднее время придуманной Пупиномъ системой, въ которой, включая въ проводъ индукціонныя катушки, можно легко выполнить передачу рѣчи на еще бо̀льшія разстоянія.

Система телефонныхъ соединеній все развивается и развивается. Большіе промышленные округа, значительные торговые города соединены между собою телефономъ, и уже не слишкомъ смѣло будетъ утвержденіе, что въ скоромъ времени каждый житель какого угодно большого или средняго города Европы сможетъ вести по телефону разговоръ съ каждымъ другимъ лицомъ, живущимъ въ одинаковыхъ съ нимъ условіяхъ. Въ настоящее время и проблема о телефонной линіи черезъ океанъ не представляется уже неразрѣшимой.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Явленія электрическаго напряженія

Содержаніе: Разомкнутая батарея.—Электрическая искра.—Индукціонные аппараты.—Искровое пространство.—Колебательный разрядъ.—Явленія напряженія происходятъ въ изоляторахъ. — Электричество положительное и отрицательное.—Лейденская банка.—Электризація треніемъ.—Электрическая машина.—Явленіе притяженія и отталкиванія.—Электроскопъ съ золотыми листочками.—Вліяніе.—Машина Вимшурста.

Во вполнѣ замкнутой цѣпи проводниковъ съ помощью гальваническихъ или термическихъ элементовъ можно поддерживать постоянный электрическій токъ. Мягкое желѣзо, по которому протекаетъ электрическій токъ, намагничивается; магнитныя стрѣлки остаются во все время прохожденія тока отклоненными. Но стоитъ только прервать гдѣлибо цѣпь проводниковъ,—напримѣръ, включить въ нее какой нибудь изоляторъ, воздухъ ли, газъ или эбонитъ,—и гальваническій токъ тотчасъ же прекращается, а вмѣстѣ съ тѣмъ пропадаютъ и всѣ его дѣйствія, хотя источникъ электричества въ видѣ гальваническихъ или термическихъ элементовъ и находится въ разсматриваемой цѣпи. Но хотя токъ въ такомъ случаѣ уже и не протекаетъ, однако въ проволокахъ или, точнѣе говоря, въ прилегающихъ къ нимъ изоляторахъ все же наблюдается нѣкоторое особое состояніе. Такъ, напр., даже на незамкнутыхъ, соединенныхъ съ батарей проводникахъ обнаруживаются явленія, которыя при обыкновенныхъ условіяхъ не наблюдаются. Для болѣе краткаго обозначенія этихъ явленій, наблюденіемъ которыхъ мы теперь и займемся, назовемъ ихъ просто явленіями напряженія; они дѣйствительно зависятъ отъ той величины, которой мы выше дали названіе напряженія. Хотя эти явленія и наблюдаются на всякомъ незамкнутомъ гальваническомъ или термическомъ элементѣ,

но они значительно усиливаются, а потому наблюдаются безъ особыхъ вспомогательныхъ средствъ, въ томъ случаѣ, если пользоваться очень большими напряженіями, если, слѣдовательно, въ цѣпь включить нѣсколько соединенныхъ послѣдовательно элементовъ. Такъ, напримѣръ, если соединить послѣдовательно 100 гальваническихъ элементовъ и провести отъ полюсовъ такой батареи двѣ проволоки, то оказывается, что, при сближеніи концовъ этихъ проволокъ приблизительно на одну десятую миллиметра, между ними проскакиваетъ блестящая искра. Проволоки не надо приводить въ соприкосновеніе другъ съ другомъ, такъ какъ въ такомъ случаѣ между ними получился бы электрическій токъ. Если, вмѣсто 100, соединить послѣдовательно 1.000 элементовъ, то уже и при большемъ разстояніи проволокъ другъ отъ друга можно наблюдать такую же искру; но, пользуясь гальваническими элементами, можно лишь съ большимъ трудомъ достигнуть высокихъ напряженій въ 10.000 или 100.000 вольтъ. Дѣйствительно, извѣстно, что 1.000 элементовъ! Даніеля даютъ напряженіе въ 1.100 вольтъ, а сколько труда стоитъ снаряженіе и установка 1.000 такихъ элементовъ. Очень высокія напряженія можно получить совершенно инымъ, гораздо болѣе простымъ путемъ, помощью открытыхъ Фарадеемъ индуктивныхъ дѣйствій, въ частности—съ помощью такъ называемой электрической индукціи. Если вокругъ тока, протекающаго по одной (первичной) проволочной обмоткѣ, состоящей изъ нѣсколькихъ оборотовъ, намотать большое число оборотовъ проволоки, которые образуютъ вторичную обмотку, то при размыканіи и замыканіи первичнаго тока можно наблюдать во вторичной обмоткѣ появленіе мгновеннаго индукціоннаго тока. Если вторичная обмотка замкнута, то въ ней появляется мгновенный индукціонный токъ; если же она разомкнута, то въ каждомъ оборотѣ возникаетъ нѣкоторое напряженіе, и всѣ они складываются вмѣстѣ. Итакъ, мы обладаемъ очень простыми средствами для полученія весьма высокихъ напряженій въ десяткахъ и сотняхъ тысячъ вольтъ. Для этого надо только, чтобы вторичная обмотка состояла изъ большаго числа оборотовъ. Построенные такимъ образомъ приборы называются индукціонными аппаратами. Такъ какъ они впервые наиболѣе совершенно были сконструированы въ Парижѣ Румкорфомъ, то и до сихъ поръ носятъ его имя, хотя бы ихъ изготовляли и другіе экспериментаторы. Употребляютъ ихъ главнымъ образомъ для полу-

ченія электрическихъ искръ, а потому и называютъ иногда искровыми индукторами.

Для достаточно быстраго размыканія и замыканія первичнаго тока, для новаго его размыканія и замыканія и такъ далѣе служитъ молоточекъ Неффа: онъ производитъ эти замыканія и размыканія автоматически и носитъ названіе прерывателя. Въ первичную катушку вставляютъ еще пучокъ мягкихъ желѣзныхъ проволокъ, благодаря чему индукція производится не только то возникающими, то исчезающими токами, а также и то возникающимъ, то исчезающимъ магнитизмомъ желѣзныхъ проволокъ. На рисункѣ 69

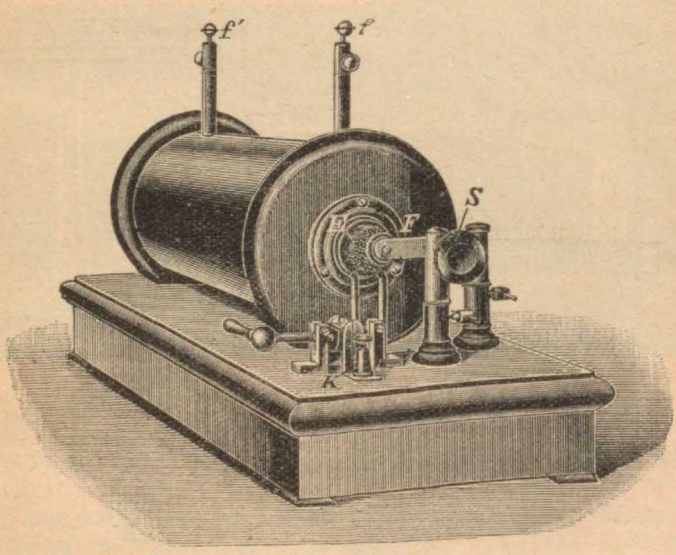


Рис. 69

изображенъ такой искровой индукторъ; въ серединѣ его находится желѣзный сердечникъ E, выступающій немного наружу. На немъ покоится первичная обмотка, а на этой послѣдней—вполнѣ отъ нея изолированная вторичная, концы которой выходятъ къ металлическимъ зажимамъ ff^1, называемымъ полюсами индукціоннаго аппарата. Первичный токъ прерывается посредствомъ прерывателя F, представляющаго со-

бою молоточекъ Неффа. Онъ состоитъ изъ пружины F, касающейся острія S и разобщающейся отъ него, когда первичный токъ намагнититъ желѣзный сердечникъ. Токъ этотъ, проходя черезъ коммутаторъ K къ острію и пружинѣ, прерывается каждый разъ, когда пружина отходитъ отъ острія, и замыкается при ихъ соприкосновеніи. Искры, появляющіяся при всякомъ разобщеніи пружины отъ острія, нѣсколько ослабляютъ дѣйствіе прибора; для устраненія же этого какъ пружину, такъ и остріе соединяютъ съ большими поверхностями станіоля (листового олова), отдѣляя эти послѣднія другъ отъ друга парафинированной бумагой. Такой приборъ называется

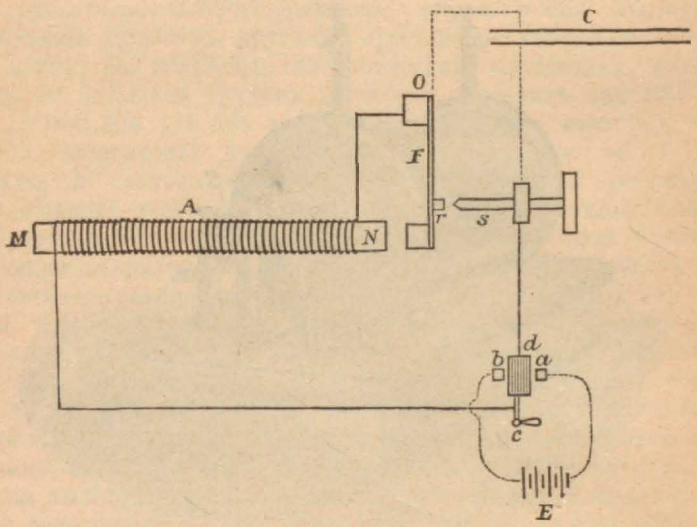


Рис. 70

конденсаторомъ и находится въ подставкѣ индуктора. О дѣйствіи его мы будемъ говорить ниже. Схема всего индукціоннаго аппарата представлена на рисункѣ 70. На немъ изображена обмотка изъ толстой проволоки, намотанной на желѣзный сердечникъ MN. Послѣдній состоитъ изъ пучка желѣзныхъ проволокъ. Это и есть первичная катушка. На ней намотана вторичная обмотка, отъ нея изолированная и на рисункѣ не показанная. Она-то и есть индукціонная катушка. Состоитъ

она изъ множества оборотовъ тонкой проволоки. Первичный токъ проходитъ изъ батареи E сперва къ срединнымъ зажимамъ коммутатора a и b, а съ конечныхъ зажимовъ c и d попадаетъ черезъ прерыватель въ первичную катушку. Прерыватель этотъ состоитъ изъ прикрѣпленной къ подставкѣ O пружины F, несущей на себѣ, какъ разъ противъ желѣзнаго сердечника E, кусочекъ желѣза. На противоположной этому желѣзному кусочку сторонѣ находится кусочекъ платины r, то сообщающійся съ остріемъ S, то разобщающійся отъ него. Между S и O помѣщенъ параллельно включенный конденсаторъ C, причемъ какъ S, такъ и O соединены съ двумя различными, от-

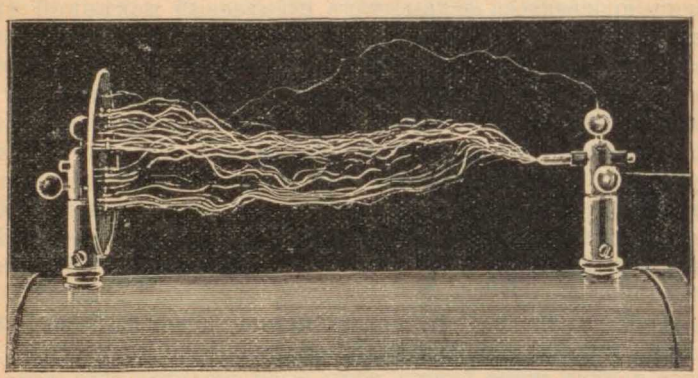


Рис. 71

дѣленными другъ отъ друга, большими металлическими поверхностями.

Такіе индукціонные аппараты даютъ крайне высокія напряженія, которыя, какъ это нетрудно видѣть, имѣютъ попеременно различныя направленія. А такъ какъ индукціонные импульсы при замыканіи имѣютъ иное направленіе, чѣмъ при размыканіи, то при этомъ и разности напряженій на полюсахъ бываютъ различныхъ направленій, т. е. то напряженіе на f выше, чѣмъ на f^1, то обратно. Особенно ясно видно здѣсь одно явленіе, состоящее въ томъ, что между полюсами съ трескомъ проскакиваетъ блестящая электрическая искра. Въ то время, какъ раньше мы получали искру съ 1.000 гальваническихъ элементовъ, отодвигая концы проволокъ на $^1/_{10}$ мм., здѣсь мы легко получимъ искры длиною не только въ 1 сант., но

и въ 10, и въ 50 сант., даже и до 1 метра. Подобный пучокъ искръ между полюсами индукціоннаго прибора представленъ на рис. 71. Изолирующій слой воздуха разрывается сильнымъ напряженіемъ, а въ искрѣ происходитъ уравниваніе напряженій. Если полюсы отстоятъ слишкомъ далеко другъ отъ друга, то явленіе искръ не наблюдается. Прикрѣпивъ же къ полюсамъ проволоки, концы которыхъ можно сближать какъ угодно, мы легко получимъ между ними непрерывный потокъ искръ, и, чѣмъ сильнѣе напряженіе, тѣмъ дальше можно отодвинуть полюсы одинъ отъ другого, не прекращая искрового потока. Величина разстоянія, при которомъ только что начинаютъ проявляться искры, такъ называемый искровой промежутокъ, можетъ служить мѣрой величины вызваннаго напряженія. Поэтому индукціонные приборы и подраздѣляются по величинѣ искрового пространства, соотвѣтственно чему и принято говорить объ аппаратахъ съ 5, 10, 15 и т. д. сантиметровымъ искровымъ пространствомъ. Искровые промежутки до 25 сант. даютъ сравнительно небольшіе и простые приборы. При большихъ же искровыхъ пространствахъ, до 1 метра, существованіе значительной изоляціи, противодѣйствующей высокимъ напряженіямъ, представляетъ уже большія затрудненія.

Итакъ, слой воздуха представляетъ для невысокихъ напряженій такое препятствіе, котораго они не могутъ преодолѣть; и чѣмъ шире будетъ этотъ слой воздуха, тѣмъ понадобятся все болѣе и болѣе высокія напряженія для того, чтобы они смогли преодолѣть сопротивленіе. Мы должны принять во вниманіе, что находящійся въ воздухѣ эфиръ вообще несжимаемъ, и что это качество обусловливаетъ изолирующую способность воздуха и другихъ изоляторовъ. Если же между двумя проводниками проскакиваетъ искра, то мало-эластичный воздухъ разрывается, и создаваемое имъ препятствіе преодолѣвается. Въ природѣ подобное преодолѣваніе эластичнаго препятствія происходитъ періодически. Если мы, напр., выдуваемъ воздухъ изо рта, сложивъ особенно губы, то слышится звукъ, а такъ какъ звуки всегда обусловливаются періодическими движеніями, то это доказываетъ, что происходящее преодолѣваніе сопротивленія воздуха періодично. Точно также слышится звукъ при разрывѣ, разломѣ, раздавливаніи тѣлъ, при каждомъ шагѣ, дѣлаемомъ нами на улицѣ, — повсюду производимъ мы періодическія движенія. Совершенно

такія же движенія производитъ и эфиръ изолирующаго воздушнаго слоя при разрывѣ этого послѣдняго. Онъ колеблется взадъ и впередъ въ продолженіе очень короткаго времени, которое мы опредѣлимъ ниже. Въ воздухѣ и проволокахъ, между которыми онъ проскакиваетъ, появляются электрическія колебанія, о которыхъ будетъ подробно изложено въ IX-ой главѣ.

Представивъ себѣ дѣло такимъ образомъ, мы и будемъ считать явленія напряженія—ведущія при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ къ появленію искръ—особымъ состояніемъ находящагося въ изоляторахъ, вблизи проволочныхъ проводниковъ, эфира; при этомъ намъ надо допустить, что въ такихъ состояніяхъ эфира принимаютъ участіе какъ онъ самъ, такъ и матеріальныя молекулы; то, что мы называемъ матеріальной молекулой, представляетъ собой комплексъ матеріи и эфира. Въ такой эфирно-матеріальной молекулѣ мы сможемъ тогда различать нормальное и измѣненное по отношенію къ матеріи положеніе эфира. Тѣло, въ которомъ эфирно-матеріальная молекула занимаетъ измѣненное положеніе, мы называемъ электрическимъ или же говоримъ, что оно содержитъ въ себѣ электричество. На полюсахъ разомкнутаго гальваническаго элемента, а также и на всѣхъ соединенныхъ съ нимъ проводникахъ, находится электричество, т. е. граничащій съ ними эфиръ выходитъ, по нашему представленію, изъ своего нормальнаго положенія и смѣщается. Это смѣщеніе и составляетъ причину разности напряженія между полюсами. Смѣщенный эфиръ стремится какъ можно скорѣе возвратиться въ свое прежнее нормальное состояніе, чего не можетъ выполнить до тѣхъ поръ, пока встрѣчаетъ препятствіе со стороны изолятора. Понятно также, что смѣщеніе эфира по отношенію къ прилегающему проводнику можетъ быть двоякимъ: такимъ, въ которомъ онъ удаленъ отъ проводника, или такимъ, когда онъ близокъ къ нему. Для этихъ состояній у насъ имѣются особыя названія: мы говоримъ, что проводникъ заряженъ положительнымъ или отрицательнымъ электричествомъ. Въ разомкнутой батареѣ одинъ полюсъ наэлектризованъ всегда положительно, а другой—всегда отрицательно. Помѣщенный же между двумя проводниками изоляторъ находится въ это время въ нѣкоторомъ напряженіи. Со стороны полюсовъ онъ испытываетъ такое же давленіе, съ которымъ онъ самъ, съ другой стороны, противодѣйствуетъ имъ.

Такимъ образомъ мы получаемъ наглядную, хотя и не

вполнѣ еще ясную въ мельчайшихъ ея подробностяхъ, картину тѣхъ состояній, которыя мы назвали электрическими. Поэтому всѣ электрическія явленія зависятъ отъ различныхъ состояній эфира или отъ движенія его въ изоляторахъ.

Но вернемся опять къ электрической искрѣ и къ разрыву эфира, находящагося въ напряженномъ состояніи.

Величина находящейся въ напряженномъ состояніи разрываемой массы между двумя полюсами зависитъ, конечно, отъ тѣхъ или иныхъ приспособленій. Если полюсы индукціоннаго аппарата (обыкновенно маленькіе шарики) поставить просто одинъ противъ другого, то напряженіе появится главнымъ образомъ на линіи, соединяющей полюсы между собою, и тогда находится въ состояніи напряженія и разрывается сравнительно небольшая масса изолятора. Гораздо болѣе сильное дѣйствіе получается въ томъ случаѣ, если каждый изъ полюсовъ соединить съ большой проводящей поверхностью и настолько сблизить ихъ, чтобы между ними образовался только тонкій промежуточный слой; тогда весь изоляторъ между этими обѣими поверхностями будетъ сильно напряженъ, и тѣмъ сильнѣе будетъ это напряженіе, чѣмъ ближе онѣ другъ къ другу. Поэтому проскакивающія искры будутъ болѣе сильныя и блестящія, и проскакивать онѣ будутъ съ бо́льшимъ трескомъ, т. е., по принятому нами взгляду, тогда будетъ находиться въ движеніи гораздо болѣе эфира. Такія двѣ близко отстоящія другъ отъ друга проводящія поверхности съ изолирующимъ промежуточнымъ слоемъ называются конденсаторами. Объ одномъ такомъ конденсаторѣ мы говорили уже выше, при описаніи искрового индуктора.

Самая цѣлесообразная и употребительная форма конденсатора есть лейденская банка, принципъ которой совершенно понятенъ изъ только что сказаннаго. Она состоитъ (рис. 72) обыкновенно изъ стеклянной бутылки, оклеенной снаружи и внутри почти до $^2/_3$ своей высоты проводящимъ станіолемъ. Стекло представляетъ собой изолирующее вещество, называемое діэлектрикомъ, а обѣ станіолевыя поверхности носятъ названіе обкладокъ, которыя и соединяются съ полюсами индукціоннаго прибора. Для болѣе простого соединенія этихъ банокъ на нихъ надѣты деревянныя крышки, черезъ которыя проходятъ металлическіе стержни съ шариками. Стержень соприкасается съ внутренней поверхностью станіоля—внутренней обкладкой, а наруж-

ная обкладка обматывается голой проволокой R. Одинъ полюсъ индуктора соединенъ съ проволокой, а другой посредствомъ проволоки же соединяется съ шарикомъ металлическаго стержня. Тогда банка, какъ говорятъ, заряжается.

Чѣмъ больше обкладки такой банки, чѣмъ ближе онѣ другъ къ другу, чѣмъ тоньше, иначе говоря, слой діэлектрика, тѣмъ *бо́льшая часть изолятора* будетъ находиться въ состояніи напряженія, и тѣмъ больше, какъ говорятъ, будетъ емкость банки. Для сильнаго увеличенія послѣдней надо, чтобы банки были очень тонки, а обкладки весьма велики. Послѣдняго же можно достигнуть, соединяя между собой всѣ внутреннія и всѣ внѣшнія обкладки цѣлаго ряда лейденскихъ банокъ. Всѣ внутреннія станіолевыя пластинки представляютъ вмѣстѣ одну бо́льшую станіолевую поверхность; то же можно сказать и про всѣ внѣшнія обкладки. Такой рядъ соединенныхъ между собою банокъ носитъ названіе лейденской батареи.

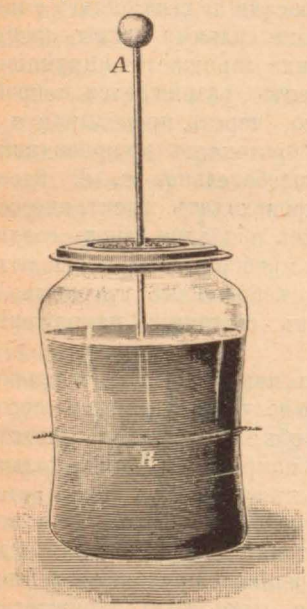


Рис. 72

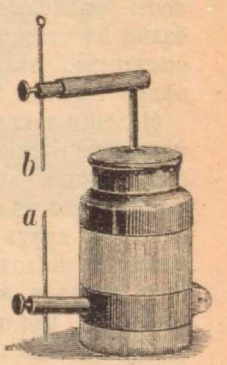


Рис. 73

Чѣмъ больше банокъ будетъ въ такой батареѣ, тѣмъ больше будетъ и зарядъ ея или, по нашему представленію, количество находящагося въ напряженномъ состояніи изолятора.

Для того, чтобы разрядить лейденскую банку, надо соединить ея обкладки проводникомъ, прикрѣпляя, напр., проволоку къ внутренней обкладкѣ и приводя ее въ соприкосновеніе съ наружной.

Сдѣлавъ это, мы увидимъ, что искра проскакиваетъ еще раньше, чѣмъ произойдетъ соединеніе, а именно, когда концы

проволокъ будутъ отстоять другъ отъ друга на искровое пространство. Такимъ образомъ, зарядъ можно производить непрерывно, если только каждую изъ обѣихъ обкладокъ соединить, какъ это показано на рис. 73, съ подвижными проволочками, а концы ихъ a и b привести въ такое другъ отъ друга разстояніе, чтобы между ними проскакивала искра. Если соединить обѣ обкладки съ полюсами индукціоннаго аппарата, то между a и b проскакиваютъ сильныя искры, кажущіяся непрерывнымъ потокомъ. Банка заряжается индукціоннымъ приборомъ и въ тотъ же моментъ разряжается искрой. Разрядъ происходитъ, слѣдовательно, черезъ проводники a и b и черезъ искру, а электричество протекаетъ по проводнику и воздуху, какъ сказано выше, колебательно, т. е. вдоль проводника и воздушнаго слоя происходитъ электрическое колебаніе. Благодаря тому, что здѣсь обкладки банокъ соединены съ полюсами индукціоннаго прибора, искры бываютъ болѣе блестящія и проскакиваютъ съ бо́льшимъ трескомъ, а количество находящагося теперь въ состояніи напряженія эфира гораздо больше.

Явленія напряженія, подобныя тѣмъ, какія производятся съ помощью индукціоннаго прибора, можно получить и другимъ способомъ; наши первоначальныя свѣдѣнія объ электричествѣ относятся какъ разъ къ такого рода явленіямъ напряженія. Стоитъ только потереть другъ о друга два различныхъ изолятора,—напр., стеклянную палочку о кожу или эбонитовую о мѣхъ, — и эти тѣла тотчасъ же приходятъ въ состояніе напряженія. Тогда говорятъ, что тѣла электризуются треніемъ, причемъ напряженія у обоихъ тѣлъ различны, т. е. одно тѣло заряжается положительнымъ, а другое—отрицательнымъ электричествомъ. Особое вниманіе надо обратить на одно свойство эфира, а именно: простымъ прикосновеніемъ одного наэлектризованнаго тѣла къ другому, ненаэлектризованному, можно вызвать въ немъ явленіе электричества, т.-е. наэлектризовать его. Съ изоляторомъ это удается очень легко. Если же изоляторъ соприкасается съ металломъ и будетъ наэлектризовываться прикосновеніемъ на граничущей поверхности, то новое электрическое состояніе распространяется по всей поверхности проводника. Тогда кажется, что наэлектризовался проводникъ, тогда какъ въ дѣйствительности наэлектризовался лишь прилежащій слой изолятора. Если проводникъ очень великъ, то полученное имъ количество напряженія распредѣлится, конечно, на большую

поверхность, и напряженіе въ каждой точкѣ будетъ ничтожно. А если къ тому же проводникъ будетъ еще отведенъ въ землю, которая и сама есть проводникъ, что напряженіе распредѣлится на такую огромную поверхность, что окажется неизмѣримо малымъ въ каждой точкѣ, а потому и незамѣтнымъ. Тогда говорятъ, что электричество отведено въ землю, что должно, собственно говоря, означать, что проводникъ или прилегающій къ нему изоляторъ не находится въ состояніи напряженія.

Съ помощью электрической машины (рис. 74) можно непрерывно наэлектризовывать тѣла треніемъ. Машина эта состоитъ изъ круглаго оконнаго стекла S, твердо укрѣпленнаго на оси, на которой находится колѣнчатая рукоятка; такимъ образомъ, кругъ можетъ вращаться вокругъ оси, причемъ онъ все время будетъ тереться о двѣ покрытыя оловянной амальгамой кожаныя подушечки R. Благодаря этому на кругѣ будетъ все время образоваться положительное, а на подушечкахъ—отрицательное электричество. Для передачи же положительнаго электричества стекляннаго круга изолированному проводнику C, послѣдній соединяютъ съ двумя деревянными кольцами, между которыми и вращается стеклянный кругъ; на кольцахъ, какъ разъ противъ круга, прикрѣплены два тонкихъ острія—двѣ швейныя иголки. Окружающій кругъ воздухъ наэлектризованъ также положительно, т. е. находящійся тамъ эфиръ будетъ тоже въ состояніи напряженія; такимъ образомъ положительное электричество будетъ распространяться съ проводящихъ остріевъ на проводникъ C, который, слѣдовательно, будетъ заряженъ положительно. Подушечка соединена съ другой стороны съ изолированнымъ же, или отведеннымъ къ землѣ, проводникомъ M; на него-то и переходитъ

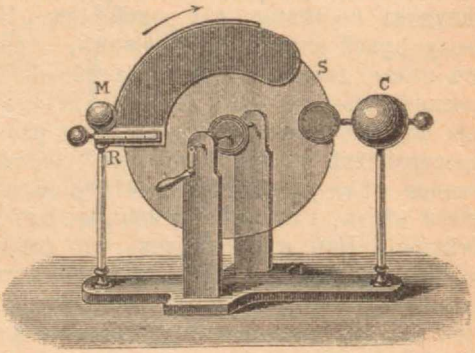


Рис. 74

отрицательное электричество. Наиболѣе извѣстное и стародавнее электрическое явленіе — это взаимныя притягиваніе и отталкиваніе наэлектризованныхъ тѣлъ. Если два подобныхъ тѣла находятся одно около другого, то они обнаруживаютъ дѣйствіе другъ на друга нѣкоторыхъ силъ. Если тѣла эти подвижны, то такія силы заставляютъ ихъ двигаться. Подобныя движенія, равно какъ и производящія ихъ силы, происходятъ, согласно нашему представленію, просто отъ того, что въ наэлектризованныхъ тѣлахъ эфиръ находится въ смѣщенномъ, сжатомъ или напряженномъ состояніи: въ положительно наэлектризованныхъ тѣлахъ— въ сжатомъ, въ отрицательно же наэлектризованныхъ—въ растянутомъ состояніи, или наоборотъ. Подобно прижатой къ столу рукой спиральной пружинѣ, стремящейся освободиться отъ этого давленія и при малѣйшей возможности выскакивающей изъ-подъ руки въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ давленіе слабѣе, или подобно сжатому газу, легко распространяющемуся въ пространствѣ съ болѣе низкимъ давленіемъ,—и наэлектризованное тѣло устремляется вмѣстѣ со смѣщеннымъ эфиромъ въ такія мѣста, гдѣ имѣется меньшее или даже противоположное смѣщеніе. Изъ этого слѣдуетъ, что два разноименно наэлектризованныхъ тѣла притягиваются одинъ къ другому, и два одноименно наэлектризованныхъ отталкиваются другъ отъ друга. Что это дѣйствительно происходитъ, доказываютъ нѣкоторые опыты, бывшіе извѣстными еще въ глубокой древности.

На стержнѣ подвѣшиваютъ другъ подлѣ друга два бузинныхъ шарика. Если къ нимъ притронуться теперь наэлектризованной стеклянной палочкой, то оба они наэлектризуются одинаково; такіе одноименно наэлектризованные шарики отталкиваются не только другъ отъ друга, но и отъ стеклянной палочки, и остаются затѣмъ въ такомъ отталкивающемся положеніи.

Если къ одному шарику прикоснуться натертой стеклянной палочкой (наэлектризованной положительно), а къ другому—натертой сургучной палочкой (наэлектризованной отрицательно), то оба шарика сильно притянутся другъ къ другу. Этими свойствами, при посредствѣ которыхъ наэлектризованныя тѣла воздѣйствуютъ другъ на друга, можно пользоваться также для распознаванія электризаціи, а иногда ими даже измѣряютъ и количество электричества. Самымъ простымъ приборомъ, служащимъ для этой цѣли, является электроскопъ съ золотыми листочками (рис. 75).

Для устройства этого прибора берутся двѣ легкія полоски изъ листового золота, прикрѣпляющіяся къ одному концу металлическаго стержня, на другой конецъ котораго надѣтъ металлическій же шарикъ. Такой стержень помѣщаютъ въ сосудъ со стеклянными стѣнками. Стоитъ только металлическому шарику

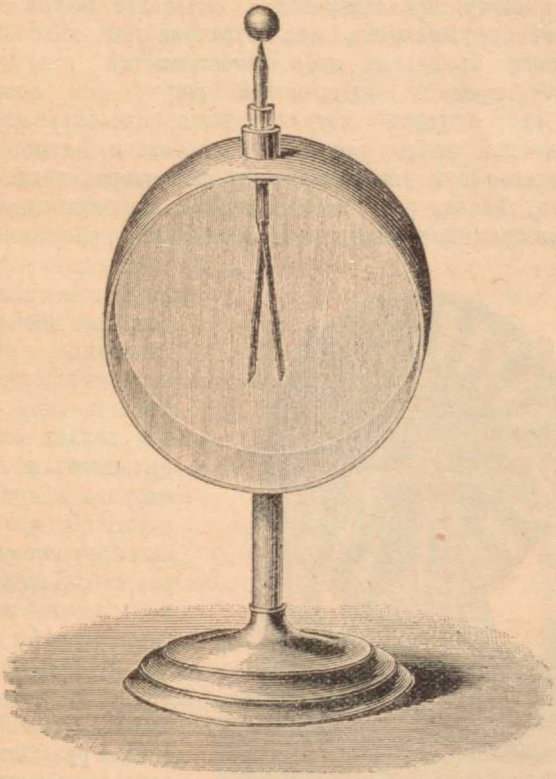


Рис. 75

прибора придти въ соприкосновеніе съ наэлектризованнымъ тѣломъ,—какъ тотчасъ же это электричество станетъ распространяться по стержню и представляющимъ собою проводники золотымъ листочкамъ; а такъ какъ эти листочки наэлектризуются одноименно, то они и оттолкнутся другъ отъ друга. Такимъ

образомъ по расхожденію золотыхъ листочковъ можно судить о существованіи электричества на томъ тѣлѣ, которымъ дотрагивались до металлическаго шарика. Заряжая наэлектризованныя тѣла, сообщаютъ имъ еще одно свойство, служащее причиною новаго явленія, а именно: при такомъ зарядѣ происходитъ наэлектризовываніе и окружающихъ тѣлъ, т. е., согласно нашему представленію, смѣщеніе эфира происходитъ и въ окружающемъ наэлектризованное тѣло пространствѣ. Если въ какомъ либо пространствѣ находится заряженный треніемъ стеклянный шаръ, то помѣщенный вблизи его, кусокъ металла тоже наэлектризовывается. Электричество точно также появляется и на поверхности, разграничивающей два различныхъ изолятора, напр. воздухъ и эбонитъ. Такого рода электричество, появляющееся вблизи наэлектризованныхъ тѣлъ, называется электричествомъ, полученнымъ черезъ вліяніе; оно проявляется, согласно нашему представленію, отъ того, что смѣщеніе эѳира, происшедшее, напр., въ стеклянномъ шарѣ, вызываетъ и смѣщеніе частицъ эфира изоляторовъ, ибо иначе была бы нарушена связь эфира; но смѣщеніе въ одномъ и томъ же изоляторѣ, хотя бы въ воздухѣ, прошло бы незамѣтно, а потому для его обнаруженія и надо два различныхъ изолятора, либо чтобы изоляторъ и металлъ соприкасались другъ съ другомъ. При вліяніи (индукціи) проявляются всегда оба рода электричества: вблизи оказывающаго вліяніе тѣла—съ инымъ, чѣмъ оно, знакомъ, а вдали отъ него—съ нимъ одноименное.

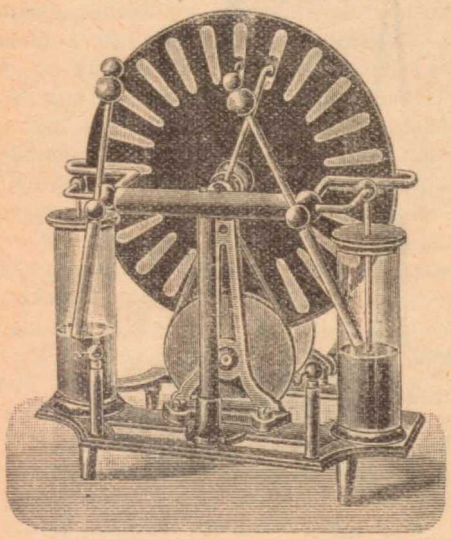


Рис. 76

Этимъ свойствомъ можно воспользоваться для простого и

очень легкаго способа полученія весьма значительнаго количества электричества однимъ только вращеніемъ машины безъ всякаго треніе. Употребляющіеся съ этою цѣлью приборы называются машинами для полученія электричества черезъ вліяніе. Мы дадимъ описаніе и объясненіе дѣйствія только одной изъ нихъ, а именно машины Вимшурста (рис. 76).

Она состоитъ изъ двухъ отстоящихъ другъ отъ друга на 5 мм. эбонитовыхъ круговъ, которые вращаются одновременно, но въ противоположныя стороны: напр., передній въ направленіи часовой стрѣлки, а задній въ другую сторону. Достигается это просто тѣмъ, что идущій отъ колѣнчатой рукоятки передаточный шнуръ на переднемъ колесѣ лежитъ прямо, а на заднемъ—накрестъ. На каждый кругъ наклеено по двадцать четыре металлическихъ сектора такой формы, какъ показано на рисункѣ. Какъ разъ противъ круговъ, какъ съ правой, такъ и съ лѣвой стороны, находятся острыя гребенки; онѣ соединяются съ подвижными латунными стержнями, на концы которыхъ насажены шарики. Шарики эти можно по желанію сдвигать и раздвигать. Очень важной составной частью являются находящіеся по каждую сторону уравнители, стоящіе почти перпендикулярно къ гребенкамъ (на рисункѣ не видно задняго уравнителя). Каждый уравнитель состоитъ изъ металлическаго рычага, на концахъ котораго находятся наконечники изъ мягкихъ металлическихъ же кисточекъ, скользящихъ по секторамъ. При вращеніи машины электричество развивается очень скоро и сейчасъ же разряжается между шариками въ видѣ отдѣльныхъ искръ и пучковъ изъ искръ.

Если одинъ изъ секторовъ, напр., лежащій на передней сторонѣ, заряженъ, положимъ, отрицательно, то при вращеніи онъ черезъ вліяніе образуетъ электричество на секторахъ, находящихся на обратной сторонѣ; а если это происходитъ на томъ мѣстѣ, гдѣ находится задній уравнитель, то зарядъ распространяется вдоль этого послѣдняго, и одинъ изъ нихъ—ближайшій изъ двухъ соединенныхъ съ нимъ секторовъ—заряжается положительнымъ, а другой—болѣе удаленный—отрицательнымъ электричествомъ. При вращеніи круговъ это происходитъ повсюду послѣдовательно, такъ что на одной половинѣ задняго круга, напр., направо отъ уравнителя, всѣ секторы заряжены только положительно, а налѣво—всѣ отрицательно. То же происходитъ и на переднемъ кругѣ.

Такъ какъ уравнитель передняго круга стоитъ перпендикулярно къ уравнителю задняго, то по обѣ стороны одной гребенки наблюдается положительное, а другой—отрицательное электричество. Зарядъ распространяется съ остріевъ вдоль находящихся съ ними въ соединеніи латунныхъ стержней на шарики, такъ что одинъ изъ нихъ наэлектризованъ всегда положительно, а другой—отрицательно. Пространство между шариками сильно напряжено, и въ немъ совершенно также, какъ и въ искровомъ индукторѣ, время отъ времени проскакиваютъ искры. Для того, чтобы и здѣсь собрать бо̀льшія количества электричества и привести ихъ посредствомъ искръ въ движеніе, соединяютъ обѣ гребенки (какъ это показано на рисункѣ) съ внутренними обкладками лейденской банки, въ то время какъ внѣшнія ея обкладки отведены въ землю. Благодаря опять таки большой емкости лейденскихъ банокъ можно привести въ напряженное состояніе большое количество электричества, въ результатѣ чего искры станутъ гораздо сильнѣе и будутъ проскакивать съ бо̀льшимъ трескомъ, чѣмъ еслибы банокъ этихъ не было.

ГЛАВА ПЯТАЯ

Обращеніе большихъ количествъ энергіи въ электрическіе токи и обратно

Содержаніе: Магнитная индукція.—Магнито-электрическія машины.—Кольцо Грамма.—Принципъ динамо.—Динамо постояннаго тока.—Машины съ послѣдовательнымъ и параллельнымъ возбужденіемъ.—Регулированіе динамо-машинъ съ параллельнымъ возбужденіемъ.—Динамо перемѣннаго и трехфазнаго тока.—Работа машинъ.—Электродвигатели.—Распредѣленіе силы.—Передача энергіи.—Двигатели трехфазнаго тока.—Высокія напряженія. — Трансформаторы. — Электрическія желѣзныя дороги.

Хотя принципіально электрическій токъ сколь угодно высокаго напряженія и силы можно получать различными способами, съ помощью, напр., химическихъ процессовъ, теплоты или движенія (индукціи),—но разъ дѣло идетъ о томъ, чтобы получить возможно проще очень сильные токи любого напряженія, то возбужденіе тока индукціей является наиболѣе цѣлесообразнымъ.

Если надо возбудить сильные токи большого напряженія, т. е. получить много амперъ и вольтъ, то примѣненіе гальваническихъ элементовъ очень ненадежно, и, пользуясь ими, мы имѣемъ дѣло со способомъ, на который нельзя полагаться вполнѣ. Такіе токи можно, конечно, получить, увеличивая число элементовъ, но для практическихъ цѣлей подобное увеличеніе почти невыполнимо. Каждый элементъ требуетъ большого за собой ухода, а также частой смѣны жидкостей и металловъ; къ тому же для большого числа элементовъ нужно много мѣста. Кромѣ того гальваническіе элементы, особенно сильные, обладаютъ способностью испускать вредные и непріятные газы; да и стоятъ эти элементы очень дорого. Почти во всѣхъ нихъ происходитъ химическимъ путемъ рас-

твореніе цинка въ кислотахъ, такъ что электрическій токъ подерживается исключительно сгораніемъ (окисленіемъ) очень дорогого горючаго матеріала—цинка.

Принципіально самымъ выгоднымъ способомъ полученія электрическихъ токовъ было бы непосредственное превращеніе тепла въ электричество, по образцу паровыхъ машинъ, гдѣ теплоту переводятъ непосредственно въ механическую работу. Но пока это возможно только при примѣненіи термоэлектричества, а оно до сихъ поръ, даже при наивыгоднѣйшихъ конструкціяхъ, позволяетъ использовать для электричества лишь очень незначительное количество теплоты, почему и не можетъ имѣть большого значенія для полученія сильныхъ токовъ.

Самымъ же дѣйствительнымъ средствомъ для возбужденія сильныхъ электрическихъ токовъ является индукція магнитами, т. е. такъ называемая магнитная индукція. Стоитъ только начать вращать какой либо проволочный кругъ или, еще лучше, проволочную катушку вблизи магнита,—и въ кругѣ либо катушкѣ появятся мгновенные электрическіе токи. Въ этомъ-то и состоитъ знаменитое открытіе Фарадея. Въ средину катушки выгодно помѣщать стержень изъ мягкаго желѣза, такъ какъ вблизи магнита онъ и самъ намагничивается. Это измѣненіе силы магнитизма въ желѣзномъ сердечникѣ возбуждаетъ, въ свою очередь, сильные индукціонные токи въ находящейся возлѣ него проволочной катушкѣ. Внѣшній видъ катушекъ съ желѣзными сердечниками можетъ быть какимъ угодно. Можно обматывать проволокой плоскіе сердечники; можно употреблять и длинные желѣзные цилиндры, а проволочную обмотку накладывать на нихъ поперекъ или вдоль; наконецъ можно брать сплошь обвитыя проволокой замкнутыя желѣзныя кольца. Во всѣхъ этихъ случаяхъ, лишь только катушки со своими стержнями станутъ вращаться вблизи магнитовъ,—въ нихъ тотчасъ же появятся электрическіе токи. Смотря, конечно, по расположенію катушекъ, и индукція будетъ то сильнѣе, то слабѣе. Въ общемъ надо, само собой разумѣется, слѣдить за тѣмъ, чтобы проволока, въ которой должны индуктироваться токи, двигалась въ возможно болѣе сильномъ магнитномъ полѣ.

Очень скоро вслѣдъ за открытіемъ Фарадея Пиксій построилъ первую машину, въ которой вращеніемъ передъ магнитомъ проволочныхъ катушекъ съ желѣзными сердечни-

ками постоянно возбуждались индукціонные токи. Въ его машинѣ не катушки съ сердечниками вращаются при неподвижномъ положеніи магнита,—напротивъ, желѣзные, обмотанные проволокой, сердечники неподвижны,—а вращается вокругъ своей оси подковообразный магнитъ, причемъ дѣйствіе этого послѣдняго на катушки остается, конечно, тѣмъ же, какимъ было бы и при вращеніи катушекъ. Подобныя машины, возбуждающія токи движеніемъ катушекъ передъ магнитомъ или обратно, носятъ названіе магнитно-электрическихъ машинъ. Магнитъ, индуктирующій въ катушкахъ токъ, называется индуктирующимъ магнитомъ, а сами катушки съ желѣзными сердечниками — индукторомъ или якоремъ.

Итакъ, Пиксій закрѣпилъ якорь и привелъ во вращеніе индуктирующій магнитъ; при подобномъ устройствѣ очень легко соединить токи, идущіе изъ катушекъ якоря, со внѣшнею цѣпью.

Если же хотятъ, наоборотъ, магнитъ сдѣлать неподвижнымъ, а вращать катушки, то надо устроить такъ, чтобы внѣшній токъ, который остается въ покоѣ, находился въ постоянномъ соединеніи съ якоремъ, даже и во время вращенія послѣдняго. Это достигается тѣмъ, что концы катушекъ якоря подводятъ къ оси вращенія, надѣваютъ на ось два изолированныхъ какъ другъ отъ друга, такъ и отъ оси металлическихъ кольца и соединяютъ съ этими послѣдними концы проволочной обмотки, такъ что оба кольца представляютъ изъ себя ея концы; они-то и вращаются вмѣстѣ съ нею, будучи соединены съ внѣшнею цѣпью слѣдующимъ образомъ: каждый изъ ихъ концовъ подведенъ къ особой щеткѣ изъ мѣдной проволоки или угля, которые скользятъ по металлическимъ кольцамъ, благодаря чему токъ изъ якоря и идетъ во внѣшнюю цѣпь.

Простѣйшая подобная машина, впервые сконструированная Штереромъ, изображена на рис. 77. Мы видимъ на немъ подковообразный магнитъ, передъ полюсами котораго вращаются двѣ катушки RR^1 съ желѣзными сердечниками, приводимыя въ движеніе съ помощью особаго колеса. Концы проволоки, намотанной на катушки RR^1, идутъ къ двумъ находящимся на оси металлическимъ кольцамъ, по которымъ скользятъ щетки (на рисункѣ не изображенныя); въ точкахъ a и b къ этимъ щеткамъ прикрѣплены концы внѣшней цѣпи

W. При каждомъ полуповоротѣ катушекъ RR^1 направленіе индукціоннаго тока будетъ мѣняться: если одна катушка удаляется отъ сѣвернаго полюса, то при полуповоротѣ она

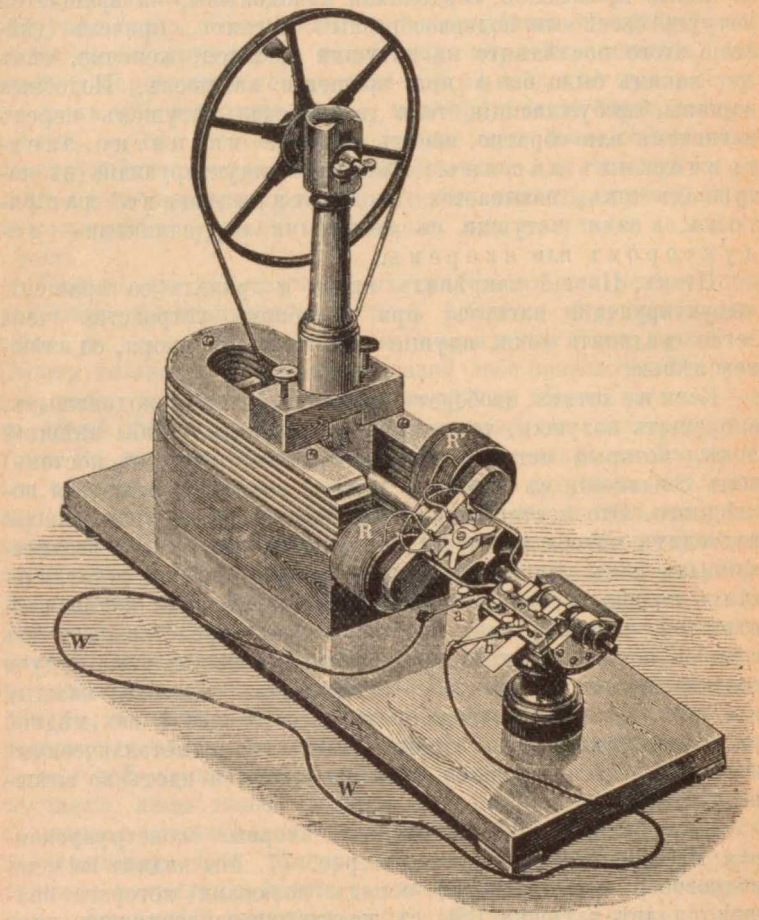


Рис. 77

снова будетъ къ нему приближаться; вслѣдствіе этого положительный импульсъ тока одинъ разъ направленъ къ *a*, а

другой—къ *b*. Такимъ образомъ по проволокѣ, укрѣпленной въ *a* и *b*, будутъ протекать перемѣнные токи.

Но можно также, какъ это впервые показалъ итальянецъ Пачинотти, измѣнить установку машины такимъ образомъ, что по внѣшней цѣпи будутъ идти не перемѣнные токи, а направленные все время въ одну сторону. Вмѣсто желѣзнаго сердечника Пачинотти взялъ цѣльное, обвитое проволокой, желѣзное кольцо; концы проволоки онъ спаялъ вмѣстѣ, такъ что у нея уже не было больше свободныхъ концовъ. Такой индукторъ, получившій названіе кольца Пачинотти, извѣстенъ болѣе подъ именемъ кольца Грамма, который ввелъ его во всеобщее употребленіе. Если кольцо вращать передъ полюсами магнита, то въ немъ, какъ мы сейчасъ покажемъ, идущіе во внѣшнюю цѣпь токи направлены постоянно въ одну и ту же сторону.

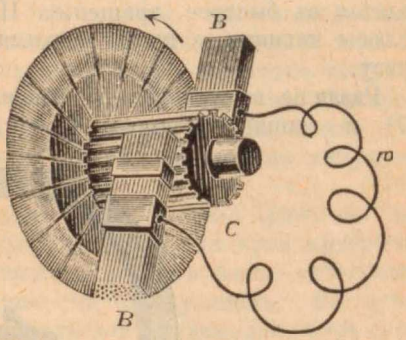


Рис. 78

Дѣлая такое кольцо, Граммъ, какъ показываетъ рис. 78, употреблялъ для обмотки его большое количество отдѣльныхъ проволочныхъ катушекъ, всѣ концы которыхъ сходились на оси и тамъ заканчивались въ мѣдныя полоски. Эти полоски изолированы другъ отъ друга, и каждая изъ нихъ соединена съ концомъ одной и началомъ другой катушки. Слѣдовательно, во всемъ приборѣ столько же мѣдныхъ полосокъ, сколько отдѣльныхъ катушекъ, а всѣ послѣднія, будучи соединены между собой послѣдовательно, образуютъ поэтому одну общую обмотку желѣзнаго кольца. Въ опредѣленныхъ мѣстахъ по мѣднымъ полоскамъ скользятъ щетки BB, перехватывающія съ нихъ токъ, который направляется затѣмъ во внѣшнюю цѣпь. Находящаяся на оси часть *C*, состоящая изъ нѣкотораго числа мѣдныхъ полосокъ и изолирующихъ ихъ пластинъ, называется коммутаторомъ или коллекторомъ (собирателемъ) тока. Сверху и снизу кольца надо представить себѣ полюсы магнита: наверху сѣверный, а внизу южный. Тогда станетъ яснымъ, что всѣ катушки кольца, находящіяся какъ разъ въ верхней по-

ловинѣ, даютъ индукціонные токи одного и того же направленія, а въ нижней половинѣ—направленія противоположнаго. Итакъ, къ одной щеткѣ сверху и снизу токъ постоянно подходитъ, а съ другой уходитъ; благодаря этому во внѣшнемъ проводѣ дѣйствительно всегда идетъ токъ одного и того же направленія.

Подобная магнито-электрическая машина съ кольцомъ Грамма изображена на рис. 79. На немъ мы видимъ стоящій подковообразный магнитъ, а между полюсами послѣдняго кольцо Грамма, отдѣльныя обмотки котораго сдѣланы то темными, то свѣтлыми. Ось, на которую насажено кольцо, посредствомъ колѣнчатой рукоятки и передачи изъ зубчатыхъ колесъ приводится въ быстрое вращеніе. Направо и налѣво находятся полюсы магнита, а щетки скользятъ по коллектору вверху и внизу.

Различіе въ устройствѣ машины перемѣннаго тока (рис. 77) и машины Грамма (рис. 79) вполнѣ понятно. Въ

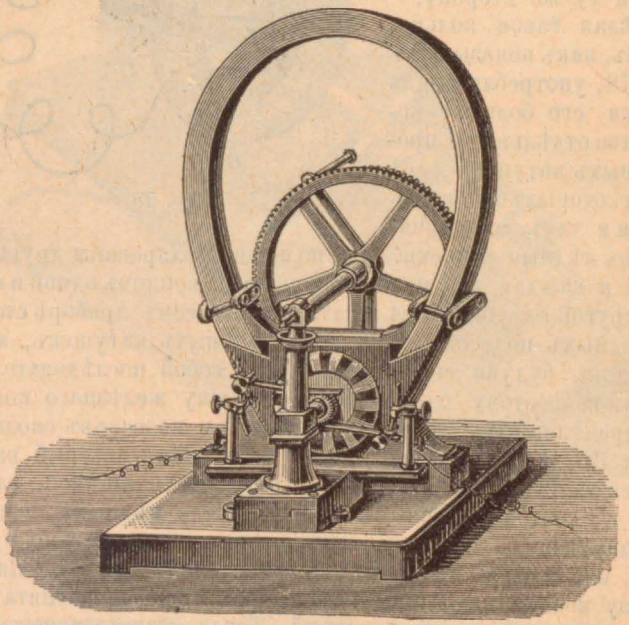


Рис. 79

первой машинѣ оба свободные конца проволочныхъ обмотокъ R и R^1 прикрѣплены къ оси; щетки, воспринимающія электрическій токъ, скользятъ все время по однимъ и тѣмъ же концамъ проволокъ, а такъ какъ послѣднія становятся заряженными то положительно, то отрицательно, то отъ щетокъ будутъ исходить токи перемѣнные. Въ кольцѣ же Грамма щетки не только не скользятъ по однѣмъ и тѣмъ же проволокамъ, но, напротивъ того, каждый разъ соприкасаются съ иной проволокой. При вращеніи колеса мѣдныя полоски все время смѣняютъ одна другую, такъ что щетки соприкасаются все съ новыми и новыми обмотками. Такимъ образомъ щетки воспринимаютъ токъ поочередно съ различныхъ обмотокъ, а вслѣдствіе того, что щетки эти неподвижны, онѣ и должны посылать отъ себя токъ въ одномъ и томъ же направленіи, потому что въ каждой обмоткѣ токъ индуктируется тотчасъ же, лишь только она придетъ въ нѣкоторое опредѣленное положеніе. При такомъ устройствѣ можно дѣйствительно легко получать простымъ вращеніемъ индуктора постоянные токи во внѣшней цѣпи.

Изобрѣтеніе кольца Грамма очень важно. Лѣтъ 20 назадъ оно сильно подвинуло электротехнику на пути прогресса.

Вторымъ не менѣе важнымъ моментомъ было усовершенствованіе машинъ, состоящее въ слѣдующемъ. Во всѣхъ магнито-электрическихъ машинахъ для индукціоннаго тока примѣнялись раньше стальные магниты, такъ это было, напр., во всѣхъ вышеупомянутыхъ машинахъ. Но магнитизмъ стального магнита сравнительно незначителенъ; онъ неизмѣримо слабѣе магнитизма, вызываемаго электрическимъ токомъ въ большихъ кускахъ мягкаго желѣза. Поэтому можно сказать напередъ, что, при примѣненіи для индукціи электромагнитовъ вмѣсто стальныхъ магнитовъ, индукціонные токи магнитно-электрической машины будутъ гораздо сильнѣе. Но тутъ сейчасъ же является новый, весьма важный вопросъ: для образованія создающихъ поле магнитовъ (разъ они дѣйствительно должны быть электромагнитами), нуженъ токъ, который протекалъ бы вокругъ желѣзныхъ сердечниковъ; надо ли этотъ токъ брать откуда либо извнѣ,—напр., изъ батареи,—или же для этого можно воспользоваться тѣмъ самымъ токомъ, который имѣется въ индукторѣ?

Уже самая постановка подобнаго вопроса была въ высшей степени важна и имѣла большое принципіальное значеніе, а

успѣшное его разрѣшеніе было одной изъ самыхъ блестящихъ побѣдъ, одержанныхъ въ техникѣ геніемъ Вернера Сименса; въ 1867 г. онъ впервые поставилъ и разрѣшилъ этотъ вопросъ.

Сименсъ сказалъ себѣ, что для возбужденія тока въ электромагнитѣ, конечно, не нужно какого либо посторонняго тока, взятаго хотя бы изъ батареи, а что его можно получить изъ самой же машины. Разъ въ индукторѣ возбужденъ токъ, то для значительнаго усиленія магнита стоитъ лишь провести его соотвѣтственнымъ образомъ по спиральнымъ обмоткамъ вокругъ магнита. Это и есть знаменитый принципъ динамо Сименса, примѣняемый либо непосредственно, либо съ нѣкоторымъ измѣненіемъ при конструированіи всѣхъ новыхъ машинъ. Въ нихъ даже нѣтъ никакого особаго магнита. Слабый остаточный магнитизмъ каждаго желѣзнаго сердечника проявляетъ свое дѣйствіе, и магниты образуются лишь во время хода машины, значительно вліяя тогда на ея продуктивность. Исходя изъ того положенія, что магнитизмъ является здѣсь до нѣкоторой степени лишь промежуточнымъ звеномъ, способствующимъ превращенію употребляемой работы въ электричество, — Сименсъ и далъ этимъ машинамъ названіе динамо-машинъ (dynamis—работа) или, что то же,—динамо-электрическихъ машинъ. Въ нихъ достаточно самаго незначительнаго количества магнитизма, имѣющагося постоянно въ мягкомъ желѣзѣ, чтобы возбудить сначала слабый токъ въ якорѣ; токъ этотъ проходитъ въ надлежащемъ направленіи вокругъ желѣзныхъ сердечниковъ, превращая ихъ сначала въ слабые, а потомъ во все болѣе и болѣе сильные магниты. Итакъ, токъ и магнитизмъ, вліяя другъ на друга, постепенно усиливаютъ другъ друга, пока магниты не намагнитятся ad maximum; тогда работоспособность машины становится наибольшею.

Первымъ лицомъ, сумѣвшимъ воспользоваться обоими этими принципами — кольцомъ Грамма и сименсовымъ принципомъ динамо,—былъ самъ Граммъ; его машины были съ самаго начала сконструированы такъ хорошо, что долгое время считались лучшими и наиболѣе продуктивными для полученія постоянныхъ токовъ. Вмѣсто того, чтобы обвивать кольцо проволокой, можно обмотать ею параллельно оси цилиндровъ; если же позаботиться о томъ, чтобы щетки на коллекторѣ отводили токъ не отъ однѣхъ и тѣхъ же, а отъ разныхъ, но одинаково расположенныхъ обмотокъ, то и въ такомъ случаѣ воз-

можно получать постоянные токи. Такой цилиндрическій индукторъ машины постояннаго тока впервые былъ устроенъ Гефнеромъ-Альтенекомъ, назвавшимъ его барабаннымъ якоремъ. Въ машинахъ постояннаго тока по большей части пользуются въ настоящее время именно барабаннымъ, а не кольцевымъ якоремъ, такъ какъ первый изъ нихъ сдѣлать гораздо легче.

Послѣ всего сказаннаго нетрудно будетъ понять устройство динамо-машины постояннаго тока Сименса и Гальске, изображенной на рис. 80. Въ ней имѣется барабанный якорь, помѣщенный, какъ мы видимъ, между закругленными полюсными наконечниками очень сильнаго короткаго магнита. Полюсы магнита, для надлежащаго ихъ возбужденія, обмотаны проволокой и установлены на особой подставкѣ изъ цѣльнаго куска желѣза, на которой находится и ось барабана. Съ помощью винтовъ подставка эта можетъ передвигаться, что позволяетъ безъ всякаго труда натянуть, какъ слѣдуетъ, идущій отъ паровой машины передаточный ремень. Четыреугольное отверстіе на внѣшней сторонѣ полюсныхъ наконечниковъ служитъ для подыманія, въ случаѣ надобности, всей машины вверхъ. Находящійся съ правой стороны коммутаторъ, какъ видно, очень широкъ и состоитъ изъ изолированныхъ мѣдныхъ полосокъ, со скользящими по нимъ въ двухъ діаметрально противоположныхъ пунктахъ щетками, раздѣленными на трое. Щетки дѣлаются либо изъ мѣдной сѣтки, либо изъ угольныхъ пластинокъ; въ послѣднемъ случаѣ онѣ стираютъ коммутаторъ не такъ сильно, какъ въ первомъ. Отъ щетокъ идутъ двѣ толстыя мѣдныя проволоки, подходящія къ двумъ зажимамъ, находящимся на верху машины; къ этимъ-то зажимамъ и притекаетъ токъ, идущій во внѣшнюю цѣпь. Такимъ образомъ изъ якоря машины токъ идетъ черезъ щетки во внѣшнюю цѣпь.

Въ примѣненіи принципа динамо къ построенію динамо-машинъ возможны нѣкоторыя видоизмѣненія. Такъ, всѣ три главнѣйшія части динамо-электрической машины—т. е. якорь, магниты и внѣшнюю цѣпь—можно располагать различно. Въ только что описанной машинѣ мы видѣли, что якорь, создающіе магнитное поле, магниты и внѣшняя цѣпь соединены между собою послѣдовательно; другими словами, схема такой динамо-машины имѣетъ видъ, показанный на рис. 81. Въ ней токъ проходитъ послѣдовательно по проволокѣ якоря R черезъ щетку *a* и по обмоткамъ обоихъ колѣнъ электромагнита M къ

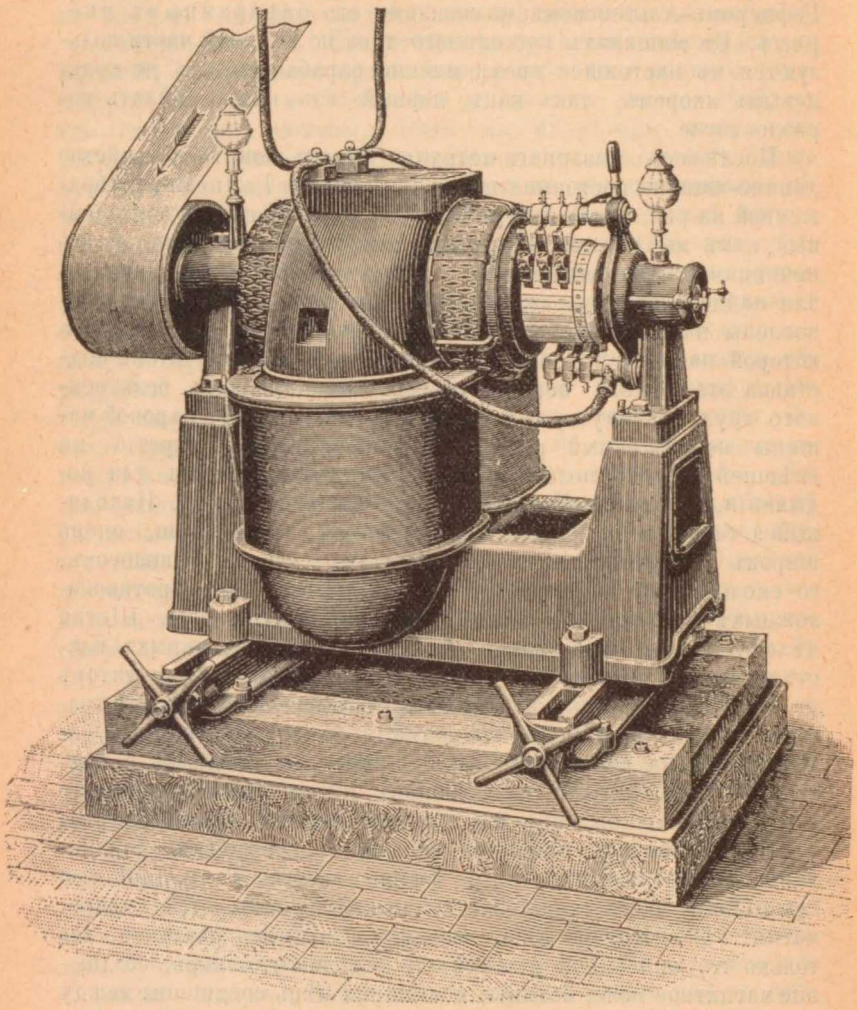


Рис. 80

полюсному зажиму K_2, а отъ него черезъ внѣшнюю цѣпь W къ другому полюсному зажиму K_1, отъ котораго и возвращается черезъ щетки *b* обратно къ якорю. Итакъ, якорь, обмотки электромагнита и внѣшній токъ образуютъ одну общую цѣпь. Такія машины называются машинами съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ.

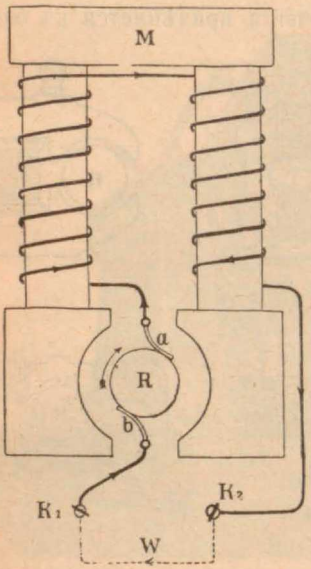


Рис. 81

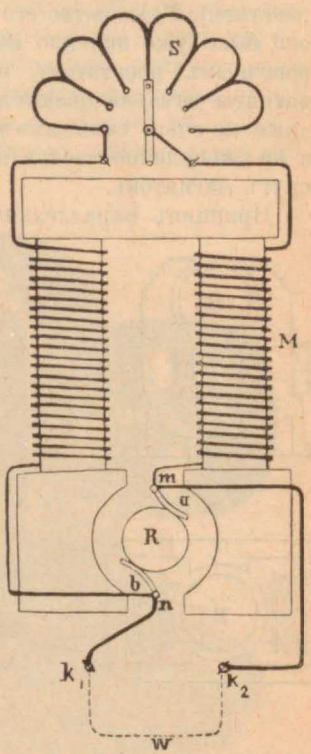


Рис. 82

Но можно идущій отъ якоря токъ отвести и прямо во внѣшнюю цѣпь, направивъ въ обмотку электромагнитовъ только нѣкоторую отвѣтвленную часть тока. Подобное расположеніе мы видимъ на схемѣ рис. 82. Тутъ токъ, выходящій изъ якоря R черезъ щетки *a* и *b*, развѣтвляется, направляясь частью къ полюснымъ зажимамъ K_1 и K_2, а оттуда во внѣшнюю цѣпь W, частью же въ обмотки магнита M. Такія машины называются машинами съ параллельнымъ воз-

буждением. Для болѣе удобнаго измѣненія силы магнитнаго тока въ обмотку электромагнитовъ включается еще обыкновенно перемѣнное сопротивленіе S (регулировочный реостатъ). Устройство его ясно изъ рисунка; а кромѣ того, оно было уже описано нами на 41 стр. Пользоваться регулировочнымъ реостатомъ выгодно хотя бы уже потому, что магниты намагничиваются ad maximum при опредѣленныхъ, даже не очень сильныхъ токахъ. Конечно, совсѣмъ не нужно и не экономично заставлять весь сильный токъ протекать вокругъ магнитовъ.

Принципъ параллельнаго включенія примѣняется къ боль-

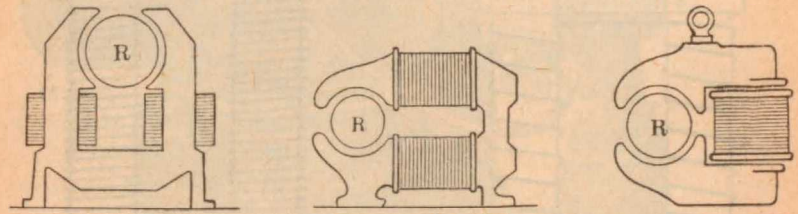


Рис. 83

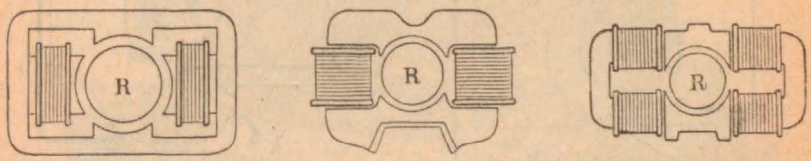


Рис. 84

шинству машинъ, питающихъ лампы накаливанія. Да и вообще говоря, большинство строящихся въ настоящее время динамомашинъ имѣетъ параллельное включеніе.

Очень часто пользуются еще, наконецъ, съ большимъ успѣхомъ третьимъ способомъ такъ называемаго смѣшаннаго или компаундnаго включенія. Онъ состоитъ въ томъ, что магниты возбуждаются какъ главнымъ токомъ, такъ и его отвѣтвленіемъ; построенныя по такому образцу машины называются компаундъ-машинами. Теперь онѣ почти совсѣмъ уже вышли изъ употребленія.

Кромѣ способа включенія, различныя машины отличаются

еще другъ отъ друга и различными формами электромагнитовъ. Иногда имъ придаютъ видъ подковы, какъ на рис. 83, гдѣ изображены три различныхъ видоизмѣненія такой формы, изъ которыхъ во всѣхъ между ножками электромагнита, возбуждающимися одной или двумя проволочными обмотками, находится якорь R. Иногда желѣзо образуетъ вокругъ якоря вполнѣ замкнутую цѣпь и намагничивается надѣтыми на послѣднюю катушками, какъ это показано на рис. 84.

Часто, особенно въ большихъ машинахъ, вмѣсто двухъ маг-

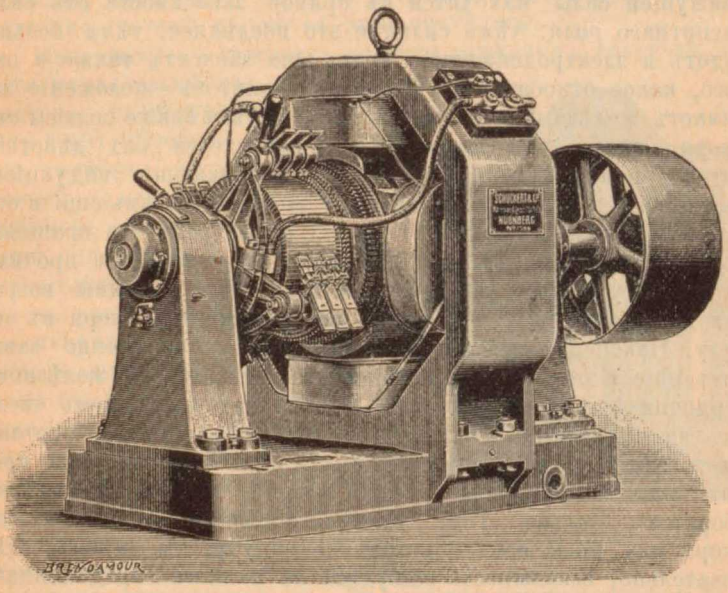


Рис. 85

нитныхъ полюсовъ, ихъ берутъ 4, 6 и даже больше; соотвѣтственно этому тогда, конечно, и по коллектору скользятъ 4, 6 и болѣе щетокъ. Такъ, напримѣръ, рис. 85 изображаетъ машину Шуккерта, имѣющую четыре магнита и барабанный якорь. По очень широкому коллектору скользятъ четыре ряда щетокъ по три въ каждомъ.

Итакъ, въ каждой динамо-машинѣ постояннаго тока слѣдуетъ различать три части: якорь, магниты и коллекторъ.

Якорь обыкновенно приводится въ движеніе посредствомъ парового или газоваго двигателя, отъ махового колеса котораго идетъ къ динамо-машинѣ передаточный ремень. Это имѣетъ то преимущество, что динамо-машины должны обыкновенно вращаться гораздо скорѣе паровыхъ. Иногда же динамо просто насаживаютъ на ось парового двигателя.

Итакъ, вращеніемъ якоря въ динамо-машинахъ возбуждается электродвижущая сила (напряженіе), посылающая по проволокамъ якоря токъ во внѣшнюю цѣпь. Величина этой электродвижущей силы находится въ прямой зависимости отъ силы магнитнаго поля: чѣмъ сильнѣе это послѣднее, тѣмъ больше будетъ и электродвижущая сила. Она зависитъ также и отъ того, какое относительно полюсовъ магнитовъ положеніе занимаетъ желѣзный сердечникъ якоря. Чѣмъ ближе полюсы отъ якоря, тѣмъ лучше и сильнѣе подвергается онъ дѣйствію магнитной индукціи, тѣмъ сильнѣе возникающіе индукціонные токи. Электродвижущая сила зависитъ затѣмъ еще и отъ скорости вращенія якоря. При болѣе быстромъ его вращеніи создается и бо́льшая электродвижущая сила. При прочихъ равныхъ условіяхъ электродвижущая сила машины возрастаетъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ числа оборотовъ якоря въ минуту. Наконецъ электродвижущая сила существенно зависитъ еще и отъ числа проволочныхъ обмотокъ на желѣзномъ сердечникѣ: она возрастаетъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ числа ихъ на индукторѣ. Кольцо съ 1.000 проволочными оборотами даетъ электродвижущую силу, въ 10 разъ бо́льшую, при прочихъ равныхъ условіяхъ, чѣмъ кольцо, на которомъ такихъ оборотовъ только 100. Мѣняя количество обмотокъ на якорѣ или число его оборотовъ въ минуту, мы имѣемъ, слѣдовательно, возможность возбудить въ машинѣ опредѣленнаго типа электродвижущую силу (напряженіе) любой величины.

Общее сопротивленіе всего тока слагается изъ внутренняго сопротивленія динамо и сопротивленія внѣшней цѣпи. Первое изъ нихъ образуется сопротивленіемъ проволокъ якоря и электромагнитовъ, соединяющихся послѣдовательно въ машинахъ съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ и параллельно—въ машинахъ съ возбужденіемъ параллельнымъ.

Электродвижущая сила машины посылаетъ токъ по всей внутренней и внѣшней цѣпи. Часть ея уходитъ на преодолѣніе внутренняго сопротивленія, часть же—на внѣшнее. Слѣдовательно, у зажимовъ машины, къ которымъ приключаютъ внѣш-

нее сопротивленіе, напряженіе меньше, чѣмъ вся электродвижущая сила, потому что отсюда ей надо послать токъ только во внѣшнюю цѣпь. Напряженіе это имѣетъ громадное значеніе и носитъ очень подходящее названіе *напряженія у зажимовъ*. Вспомнимъ теперь терминъ *потеря напряженія*, приводившійся нами раньше, на стр. 47. Согласно ему электродвижущая сила будетъ равна потерѣ напряженія на всемъ пути прохожденія тока, т. е. суммѣ потерь во внутренней цѣпи и внѣшней. Напряженіе же у зажимовъ должно посылать токъ всего лишь во внѣшнюю цѣпь и равно, слѣдовательно, потерѣ только въ этой послѣдней.

Напряженіе у зажимовъ машины измѣряютъ вольтами, для чего параллельно съ ними включается постоянно вольтметръ (стр. 49). Вообще говоря, разъ изъ машины берутъ токи различной силы, ея напряженіе у зажимовъ мѣняется; другими словами, оно мѣняется при измѣненіи сопротивленія во внѣшней цѣпи. Очень часто бываетъ нужно, чтобы напряженіе у зажимовъ оставалось однимъ и тѣмъ же, независимо отъ того, велико ли внѣшнее сопротивленіе или мало, т. е. отъ того, много ли берутъ отъ машины тока или мало. Требованіе это легко осуществляется въ машинахъ съ параллельнымъ возбужденіемъ: его можно выполнить простымъ регулированіемъ. Въ этомъ и кроется причина большого распространенія машинъ этого типа.

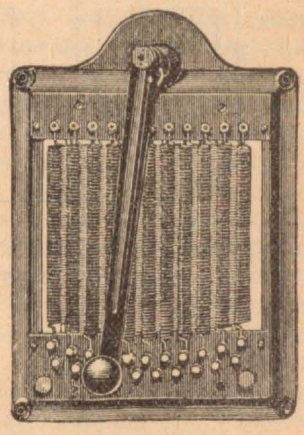


Рис. 86

Стоитъ только включить въ отвѣтвленіе тока *регулировочный реостатъ*,—и напряженіе у зажимовъ можно доводить до желаемой величины. Если, напримѣръ, включить въ обмотки магнитовъ сопротивленіе, то отвѣтвленный токъ, а слѣдовательно, и магниты станутъ слабѣе; вслѣдствіе же этого сдѣлается меньше и напряженіе у зажимовъ машины. Если же выключить нѣкоторое сопротивленіе изъ реостата, а слѣдовательно, и изъ отвѣтвленнаго тока, то послѣдній станетъ отъ этого сильнѣе, отчего увеличится и напряженіе у за-

жимовъ. Это послѣднее можно, такимъ образомъ, мѣнять простымъ включеніемъ или выключеніемъ сопротивленія,—слѣдовательно, его можно и поддерживать на одной и той же величинѣ, показываемой все время вольтметромъ.

Регулировочный реостатъ, имѣющій обыкновенно такую форму, какая показана на рис. 86, состоитъ изъ сопротивленій, могущихъ быть включенными въ отвѣтвленную цѣпь тока или выключенными. Мы уже описали его на стр. 49. Сила тока зависитъ, по закону Ома, отъ напряженія у зажимовъ и

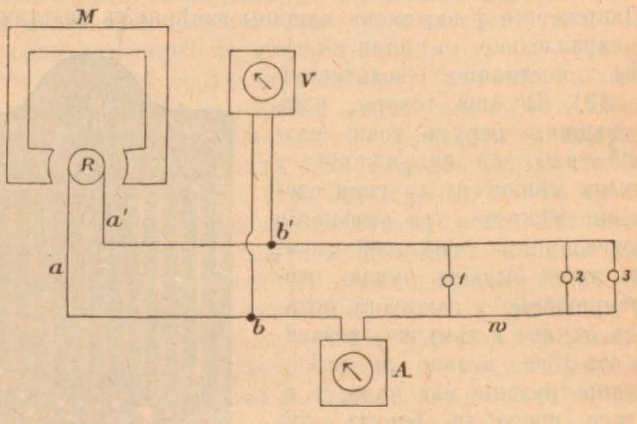


Рис. 87

сопротивленія, имѣющагося во внѣшней цѣпи. Чѣмъ меньше внѣшнее сопротивленіе, тѣмъ больше сила тока, и обратно. Для измѣренія силы тока во внѣшнюю цѣпь, конечно, включается амперметръ.

Соединеніе динамо-машины съ вольтметромъ, амперметромъ и внѣшнею цѣпью показано на рис. 87. Отъ якоря R машины идутъ двѣ проволоки $a\ b$ и $a'b'$, которыя подходятъ къ двумъ зажимнымъ винтамъ b и b'. Отъ b и b' идутъ проволоки w, образующія главные провода для включенія приборовъ 1, 2, 3 и т. д. Въ одну изъ этихъ проволокъ включается амперметръ A. Вольтметръ же V присоединяется параллельно этимъ проволокамъ. Но при употребленіи динамомашинъ однихъ этихъ приборовъ недостаточно. Надо включить

еще выключатели и предохранители, о которыхъ мы будемъ говорить ниже.

Динамо-машины производятъ электричество на счетъ работы, которую надо затратить на вращеніе якоря передъ полюсами магнитовъ. Если, положимъ, динамо-машина замкнута внѣшнимъ сопротивленіемъ, и такимъ образомъ токъ проходитъ по этому послѣднему и по якорю, то вслѣдствіе электромагнитныхъ силъ между магнитами и токомъ въ якорѣ возникаетъ нѣкоторая препятствующая сила, представляющая сопротивленіе движенію якоря. Итакъ, движенію якоря препятствуетъ нѣкоторая сила, на преодолѣваніе которой мы все время должны затрачивать работу. Такимъ образомъ при посредствѣ динамо-электрическихъ машинъ механическая работа обращается въ электричество. Производя соотвѣтственные опыты надъ каждой машиной, нетрудно видѣть, какъ много надо затратить работы, чтобы возбудить въ такихъ машинахъ электрическій токъ. Пока зажимы машины не замкнуты внѣшней проволокой, такъ что токъ не можетъ идти, ее нетрудно привести въ движеніе и въ немъ поддерживать. Но лишь только цѣпь тока замкнута, такъ что токи могутъ проходить, и возникаетъ внутренняя противодѣйствующая сила,—и машина идетъ очень тяжело, а чтобы ее вращать, надо затратить много работы. Механическая работа или, лучше сказать, механическая энергія обращается въ энергію электрическую.

Мѣрой электрической энергіи служитъ не просто сила тока, а произведеніе силы тока на его напряженіе. Это станетъ понятно, если только вспомнить, что вѣдь въ токѣ что-то движется; при всякомъ же движеніи энергія является произведеніемъ двухъ величинъ. Если мы, напримѣръ, наблюдаемъ водопадъ, то энергія падающей внизъ воды, а слѣдовательно, и работа, которую она можетъ выполнить, зависитъ не только отъ количества воды, падающей въ каждую секунду внизъ, но и отъ высоты, съ которой она падаетъ. Энергія вихря зависитъ, съ одной стороны, отъ количества движущагося воздуха, а съ другой—отъ давленія, подъ которымъ онъ находится, и т. д. Величина энергіи при паденіи тяжести зависитъ отъ величины вѣса и отъ высоты паденія. Энергія электрическаго тока точно также зависитъ, во первыхъ, отъ силы тока, а во вторыхъ—отъ напряженія, которымъ онъ обладаетъ. Пока течетъ токъ, онъ во всякій моментъ обладаетъ

нѣкоторой энергіей и, слѣдовательно, въ каждый моментъ можетъ произвести работу. Работа, которую можетъ совершить въ каждую секунду какой либо механизмъ, а слѣдовательно, и нашъ токъ, можетъ быть измѣрена механически въ лошадиныхъ силахъ. Лошадь въ среднемъ можетъ поднять въ каждую секунду 75 килограммовъ на одинъ метръ, т. е. совершить работу въ 75 килограммометровъ. Водопадъ, въ которомъ въ каждую секунду падаетъ съ высоты въ 30 метровъ 10.000 килограммовъ воды, можетъ, слѣдовательно, совершить 300.000 килограммометровъ работы въ секунду, т. е. его мощность составляетъ 4.000 лошадиныхъ силъ.

Мощность тока въ какой либо части проводника измѣряется, слѣдовательно, произведеніемъ силы тока на разность потенціала на концахъ даннаго проводника. Если силу тока выражать въ амперахъ, а разность потенціаловъ—въ вольтахъ, то мощность тока выразится въ вольтъ-амперахъ. Вмѣсто этого слова принято употреблять выраженіе ваттъ, и, слѣдовательно, мощность тока измѣряется ваттами. 736 ваттъ равняются одной лошадиной силѣ. Вся же мощность тока въ нѣкоторомъ проводникѣ равна:

разность потенціаловъ на его концахъ (въ вольтахъ)$\times$силу тока (въ амперахъ)=ваттъ.

Для большихъ электрическихъ мощностей теперь считаютъ единицей 1 киловаттъ, равный 1.000 ваттамъ, такъ что токъ обладаетъ также мощностью въ

$$\frac{\text{число вольтъ} \times \text{число амперъ}}{1000} \text{ киловаттъ.}$$

1 киловаттъ равенъ 1,36 лошадиныхъ силъ, а потому мощность тока нетрудно выражать въ лошадиныхъ силахъ. Если по проводнику, на концахъ котораго имѣется разность потенціаловъ въ 150 вольтъ, протекаетъ токъ силою въ 20 амперъ, то мощность такого тока

$20 \times 150 = 3000$ ваттъ $= 3$ киловатта $= 1{,}36 \times 3$ лош.силъ.

Эту опредѣленную работу совершаетъ, слѣдовательно, нашъ токъ въ каждую секунду. Само собой разумѣется, что эта работа тока возможна лишь въ томъ случаѣ, если по крайней мѣрѣ такую же работу совершаетъ по отношенію къ динамо паровая машина. На самомъ же дѣлѣ послѣдняя должна совершить работы даже больше, такъ какъ часть ея работы уйдетъ на преодолѣніе тренія машинъ и другихъ вредныхъ сопротивленій.

Мощность всей цѣпи тока распредѣляется по отдѣльнымъ частямъ ея. Въ каждой отдѣльной части цѣпи имѣется нѣкоторая сила тока и опредѣленная на концахъ ея разность потенціаловъ, такъ что мощность въ такой части будетъ равна произведенію разности потенціаловъ на силу тока. Сумма мощностей отдѣльныхъ частей цѣпи тока составитъ общую мощность.

Особенно важна мощность тока во внѣшней цѣпи. Явленія, происходящія въ послѣдней,—какъ, напримѣръ, горѣніе лампъ, движеніе электродвигателей или гальванопластическіе процессы,—и представляютъ собою полезную работу, производимую динамомашинами.

Такъ какъ напряженіе на концахъ внѣшней цѣпи и есть напряженіе у зажимовъ, то, выраженное въ вольтахъ и помноженное на силу тока во внѣшней цѣпи въ амперахъ, оно и дастъ внѣшнюю энергію въ ваттахъ или лошадиныхъ силахъ, если число ваттъ раздѣлить на 736. Кромѣ же этой полезной работы во внѣшней цѣпи,—работы, которую, конечно, надо передать динамо-машинѣ съ нѣкотораго источника энергіи (турбины, парового или газоваго двигателя),—нѣкоторая работа тратится и внутри каждой машины, идя на то, чтобы токъ протекалъ въ якорѣ и вокругъ магнитовъ. При устройствѣ всякой машины главная задача состоитъ въ томъ, чтобы сдѣлать внутреннюю работу возможно меньшей, дабы главная часть переданной энергіи оказалась дѣйствительно полезной во внѣшней цѣпи. Отношеніе всей энергіи той ея части, которая имѣется во внѣшнейе цѣпи, называется коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія машины и выражается въ процентахъ. У наибольшихъ машинъ коэффиціентъ этотъ доходитъ до 95%, если, какъ говорятъ, машина идетъ при полной нагрузкѣ, т. е. если сила тока во внѣшней цѣпи какъ разъ настолько велика, сколь только она можетъ быть у данной машины.

До сихъ поръ мы разсматривали только динамо-машины, дающія постоянные токи. Какъ было уже сказано, токи эти снимаются посредствомъ коллектора съ ряда различныхъ обмотокъ якоря. Если все время посылать во внѣшнюю цѣпь токъ, взятый съ одной и той же обмотки, то получаются токи перемѣнные, такъ какъ при вращеніи каждая обмотка проходитъ передъ различными полюсами магнитовъ.

Долгое время не было извѣстно, какъ пустить въ работу

перемѣнные токи. Своеобразныя ихъ свойства, сильно отличающія ихъ отъ токовъ постоянныхъ, еще не были болѣе или менѣе научно изслѣдованы. Теперь же перемѣнные токи въ большомъ ходу, такъ какъ, благодаря имъ стала возможной очень простая и дешевая передача и распредѣленіе электрической энергіи, что при токахъ постоянныхъ было почти недостижимо. Основывается это на слѣдующемъ обстоятельствѣ. Передача электрической энергіи на большія разстоянія тѣмъ дороже, чѣмъ больше (при незначительномъ напряженіи) сила тока, и тѣмъ дешевле, чѣмъ больше напряженіе (при незначительной силѣ). Для сильныхъ токовъ нужны провода съ большимъ поперечнымъ сѣченіемъ, т. е. для нихъ требуется много мѣди; для слабыхъ же токовъ употребляются провода съ малымъ сѣченіемъ, слѣдовательно, мало мѣди. А мѣдь дорога. Итакъ, для проведенія электрической энергіи на далекія разстоянія выгоднѣе всего пользоваться токами очень высокаго напряженія и очень ничтожной силы. Принципіально изъ машины всякаго рода можно получать токи высокой электродвижущей силы, если увеличивать число обмотокъ на якорѣ и скорость его вращенія. Фактически же въ машинахъ съ подвижными проволочными обмотками и коллекторомъ нельзя имѣть высокаго напряженія, такъ какъ на коллекторѣ очень легко проскакиваютъ искры, благодаря чему для напряженія имѣются извѣстные предѣлы. Въ этомъ отношеніи перемѣнные токи имѣютъ большое преимущество передъ постоянными. Въ машинахъ перемѣннаго тока (альтернаторахъ) вообще нѣтъ коллектора; ихъ можно устроить даже такъ, что и проволочныя обмотки будутъ неподвижны. Потому-то въ настоящее время и строятъ такъ много такихъ машинъ, и притомъ часто колоссальныхъ размѣровъ. Благодаря именно дешевизнѣ этой системы, центральныя электрическія станціи въ большихъ городахъ и обслуживаются теперь только, вообще говоря, перемѣнными токами и трехфазными, о которыхъ мы скоро будемъ говорить.

Всякая машина перемѣннаго тока состоитъ изъ проволочной катушки, подвергающейся индукціи и называющейся индукторомъ, якоремъ или арматурой, и индуктирующихъ магнитовъ. Въ качествѣ магнитовъ употребляются исключительно электромагниты. Въ большихъ машинахъ вокругъ этихъ электромагнитовъ пробѣгаетъ особый токъ, получаемый изъ отдѣльной маленькой машины постояннаго тока, совер-

шенно уединенной отъ машины тока перемѣннаго. Иногда же эти маленькія машины помѣщаются на той же оси, на какой находятся и машины перемѣннаго тока. Можно также сдѣлать такое приспособленіе, чтобы постоянный токъ для электромагнитовъ добывался не изъ отдѣльной машины, а представлялъ собою часть перемѣннаго тока (взятаго съ опредѣленныхъ катушекъ якоря), обращенную коммутаторомъ въ постоянный и пропущенную вокругъ магнитовъ. Машины, имѣющія подобныя приспособленія, называются самовозбуждающимися альтернаторами.

Для ознакомленія съ новѣйшей конструкціей такихъ машинъ опишемъ альтернаторъ Сименса и Гальске, схема котораго изображена на рис. 88. Изъ этой схемы мы видимъ, что якорь состоитъ изъ внѣшняго неподвижнаго желѣзнаго кольца, несущаго на себѣ проволочныя катушки, подвергающіяся индукціи. Индукторы расположены звѣздообразно внутри арматуры и приводятся во вращеніе паровой машиной, между тѣмъ какъ якорь остается неподвижнымъ. Что касается магнитовъ, то они возбуждаются токомъ, доставляемымъ особой машиной постояннаго тока, насаживаемой обыкновенно на ту же ось, на которой находится и звѣздообразный индукторъ. Полюсы послѣдняго дѣлаются попеременно то сѣверными, то южными, и снабжены закругленными полюсными наконечниками, находящимися противъ кольцевого якоря. На внутренней поверхности послѣдняго сдѣланы выемки, которыхъ втрое больше, чѣмъ полюсовъ магнитовъ. На рис. 88 видны звѣздообразный магнитъ M и желѣзное кольцо R съ вышеупомянутыми выемками, въ которыя вкладываются проволочныя обмотки якоря. Смотря по способу вкладыванія въ выемки обмотокъ, получаются различные перемѣнные токи.

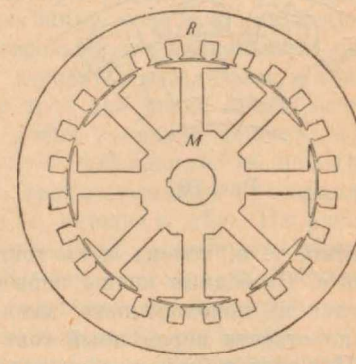


Рис. 88

Для полученія обыкновеннаго перемѣннаго тока проволоки кладутъ, какъ на рис. 89, въ выемки 1 и 3, со-

единяя ихъ по способу, изображенному на томъ же рисункѣ; слѣдующую обмотку кладутъ между 4 и 6 и т. д., оставляя, слѣдовательно, выемки 2, 5, 8 и т. д. свободными. Такъ какъ обмотки, три изъ которыхъ означены буквами *a*, *b*, *c*, имѣютъ одинаковое положеніе по отношенію къ различнымъ полюсамъ магнитовъ, то со стороны вращающихся магнитныхъ полюсовъ онѣ подвергаются одинаковой индукціи, но, конечно, въ *a* и *c* возникаютъ токи, имѣющіе противоположныя направленія, чѣмъ въ *b*, и т. д. Если поэтому хотятъ катушку соединить послѣдовательно, то катушку *b* надо соединить

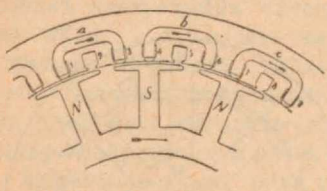


Рис. 89

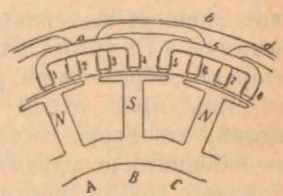


Рис. 90

обратно, т. е. конецъ *a* съ концомъ *b* и начало *b* съ началомъ *c*. Свободные концы первой и послѣдней катушекъ подводятся къ неподвижнымъ зажимамъ, отъ которыхъ тогда и можно отвести перемѣнный токъ во внѣшнюю цѣпь.

При томъ же самомъ расположеніи, устраивая иначе обмотку, можно образовать и три различныхъ цѣпи, каждая изъ которыхъ будетъ получать перемѣнные токи, однако такіе, что перемѣна направленія тока будетъ случаться у всѣхъ изъ нихъ не въ одинъ и тотъ же моментъ, а въ слѣдующіе одинъ за другимъ промежутки времени. Такую систему изъ трехъ перемѣнныхъ токовъ называютъ трехфазнымъ токомъ. Для полученія отъ машины трехфазныхъ токовъ обмотки дѣлаются такъ, какъ это показано на рис. 90. Первая обмотка *a* кладется въ промежутки 1 и 4, вторая *b*—въ 3 и 6, третья *c*—въ 5 и 8 и т. д., такъ что ни одна выемка не остается свободной (ср. съ рис. 89). По рисунку видно, что въ одинъ и тотъ же моментъ катушка *a* находится какъ разъ надъ серединой двухъ магнитныхъ полюсовъ, тогда какъ *b* стоитъ въ то же время надъ началами, а катушка *c*—надъ концами магнитныхъ полюсовъ. Если, слѣдовательно, въ катушкѣ *a* индуктируемый перемѣнный токъ обладаетъ какъ разъ наи-

большей своей силой въ нѣкоторомъ направленіи, то въ катушкахъ *b* и *c* одновременно будетъ индуктироваться токъ, который, во первыхъ, слабѣе, а во вторыхъ, направленъ въ обѣихъ катушкахъ въ разныя стороны. При вращеніи магнитовъ во всякой катушкѣ, напримѣръ, въ *a*, возникнетъ опять тотъ же импульсъ тока, какъ и при показанномъ на рисункѣ положеніи, лишь только первый сѣверный полюсъ (A) слѣва повернется направо, пока не придетъ въ положеніе слѣдующаго сѣвернаго полюса направо (C). Такое же положеніе, какъ *a*, занимаетъ и катушка *d* и т. д. Однимъ словомъ, если соединить между собою катушки 1, 4, 7, затѣмъ 2, 5, 8, наконецъ 3, 6, 9, то получатся три отдѣльныхъ провода, въ которыхъ возбуждаются перемѣнные токи, не имѣющіе въ одно и то же время своихъ наибольшихъ и наименьшихъ силъ, а обладающіе, какъ принято говорить, различными фазами.

Въ машинахъ трехфазнаго тока три конца трехъ системъ катушекъ соединены между собой въ самой машинѣ, а три начала ихъ выведены, каждое въ отдѣльности, къ неподвижнымъ зажимамъ. Отъ этихъ трехъ зажимовъ трехфазные токи и направляются затѣмъ во внѣшнюю цѣпь. На рис. 91 изображенъ общій видъ построенной подобнымъ образомъ машины трехфазнаго тока Всеобщей Компаніи Электричества. Внутри ея мы видимъ состоящее изъ магнитовъ колесо и проволочныя катушки, насаженныя на отдѣльные его полюсы и намагничивающія эти послѣдніе. Собственно обмотка, проволоки, въ которыхъ индуктируется токъ, находится въ желѣзномъ кольцѣ, окружающемъ звѣздообразный магнитъ. Отъ трехъ зажимныхъ винтовъ, расположенныхъ на лѣвой сторонѣ машины, идутъ провода во внѣшнюю цѣпь.

Въ перемѣнныхъ и трехфазныхъ токахъ надо также различать напряженіе и силу тока.

Для измѣненія напряженія въ машинахъ перемѣннаго тока, также какъ и въ машинахъ постояннаго съ параллельнымъ возбужденіемъ, надо регулировать токъ, возбуждающій магниты. Дѣлая его то сильнѣе, то слабѣе, мы также увеличиваемъ или уменьшаемъ и напряженіе перемѣннаго тока.

Для измѣренія напряженія перемѣнныхъ и трехфазныхъ токовъ, а равно и силы тока въ проводахъ, и здѣсь непосредственно къ машинѣ включаются вольтметры и амперметры. И здѣсь при обыкновенномъ перемѣнномъ токѣ, совершенно также, какъ при токѣ постоянномъ, надо пользоваться только

однимъ вольтметромъ и однимъ амперметромъ. Вольтметръ присоединяется къ зажимамъ машины въ отвѣтвленіи отъ внѣшней цѣпи тока, а амперметръ включается прямо въ проводъ главной цѣпи. Что же касается трехфазнаго тока, когда имѣются три провода, то въ этихъ случаяхъ надо измѣрять напряженіе между каждыми двумя изъ трехъ проводовъ (1 и 2, 1 и 3, 2 и 3) и силу тока въ каждой вѣтви. Для по-

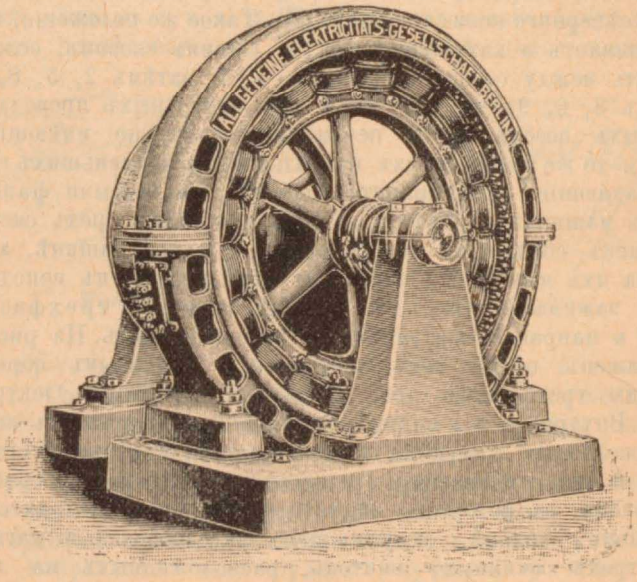


Рис. 91

слѣдняго надо, слѣдовательно, въ каждую вѣтвь главной цѣпи тока включить по амперметру. Точно также нужно поставить по вольтметру въ отвѣтвленія между зажимами 1 и 2, 1 и 3 и 2 и 3, чтобы измѣрять соотвѣтственныя напряженія.

Приборы для измѣренія перемѣнныхъ токовъ отчасти тѣ же, что и для токовъ постоянныхъ. Если дѣйствіе прибора основывается на движеніи куска мягкаго желѣза подъ вліяніемъ тока, то его можно употреблять и для перемѣнныхъ токовъ. Вѣдь такой кусочекъ желѣза будетъ, напр., втягиваться въ катушку, независимо отъ того, протекаетъ ли токъ по по-

слѣдней въ томъ или иномъ направленіи, а слѣдовательно, онъ будетъ втягиваться и тогда, если по катушкѣ проходитъ перемѣнный токъ. Для перемѣннаго тока надо только калибрировать особымъ образомъ шкалу измѣрительнаго прибора.

Хотя обращеніе съ перемѣнными токами и не такъ просто, какъ съ токами постоянными, однако техника того и другого совершенно одинакова. Динамо-машины для одной системы также легко выполнимы, какъ и для другой. Оба рода ихъ обращаютъ въ электрическую энергію 85—93 процента работы, даваемой паровыми машинами.

Отсюда тотчасъ же можно видѣть, насколько производительнѣе полученіе электричества отъ динамо-машинъ, чѣмъ отъ гальваническихъ элементовъ.

Въ гальваническихъ элементахъ отрицательный электродъ (цинкъ) всегда растворяется въ кислотѣ. Всякое количество электрической энергіи, получаемой въ замкнутомъ гальваническомъ элементѣ, происходитъ вслѣдствіе сгоранія (окисленія) нѣкоторой массы цинка въ сѣрной кислотѣ. Что же касается динамо-машинъ, то въ нихъ электрическіе токи образуются благодаря вращенію якоря или магнита, т. е. благодаря затраченной на машину работѣ. Если она приводится въ движеніе газовымъ или паровымъ двигателемъ, то электрическіе токи образуются на счетъ сгоранія угля или свѣтильнаго газа, которые и производятъ въ двигателѣ работу. Очень простымъ подсчетомъ можно наглядно показать, какова стоимость электрической энергіи въ гальваническихъ элементахъ, и какова она въ динамо, приводимыхъ въ движеніе паровой машиной или газовымъ двигателемъ. Одинъ килограммъ цинка даетъ при полномъ сгораніи 550 калорій тепла. Положимъ, что вся эта теплота цѣликомъ превратится въ электрическую энергію, что, въ сущности говоря, и происходитъ на самомъ дѣлѣ. Килограммъ же угля даетъ при сгораніи 8.000 калорій; изъ нихъ всего лишь около 8%, т. е. около 640 калорій, идетъ дѣйствительно на паровую машину. Изъ этихъ же 640 калорій или, лучше сказать, изъ соотвѣтствующей имъ работы 10% идетъ на преодолѣніе тренія динамо-машины и на непроизводительное нагрѣваніе, въ то время какъ 90%, т. е. приблизительно 570 калорій, будутъ истрачены полезно и обратятся въ электричество. Итакъ, одинъ килограммъ цинка даетъ количество электрической энергіи, соотвѣтствующее 550 калоріямъ, тогда какъ электрическая энергія, создаваемая

однимъ килограммомъ угля, соотвѣтствуетъ 570 калоріямъ. Но стоимость цинка почти въ 15 разъ больше стоимости угля, такъ что нѣкоторое количество электрической энергіи, образующейся при сгораніи угля, обойдется въ 15 разъ дешевле, чѣмъ то же количество ея, если она получается на счетъ окисленія цинка. Такой простой подсчетъ ясно указываетъ, какое преимущество имѣютъ динамо-машины передъ гальваническими элементами.

Динамо-машины превращаютъ механическую работу въ электрическую непосредственно и въ какомъ угодно количествѣ. Въ настоящее время конструируются машины, могущія постоянно превращать въ электрическую энергію работу въ 5.000 лошадиныхъ силъ.

Но если надо обратить вниманіе еще на что либо въ динамо-машинахъ, такъ это на то, что онѣ и электрическую энергію могутъ обратно переводить въ механическую работу.

Любую магнито электрическую или динамо-электрическую машину постояннаго тока можно употреблять двояко. Если передъ полюсами магнита вращать якорь, то въ немъ появляются индукціонные токи, что и служитъ основаніемъ примѣненія динамо-машинъ, о которомъ выше трактовалось весьма подробно. Если же, съ другой стороны, пустить по обмоткѣ якоря электрическій токъ, то на него станутъ вліять магниты, благодаря чему якорь придетъ во вращеніе по направленію, соотвѣтствующему правилу лѣвой руки, на которое было указано на стр. 69. Такимъ образомъ, пропуская получаемый извнѣ токъ по обмоткѣ якоря и магниту, мы приведемъ, благодаря этому, во вращеніе якорь, который, слѣдовательно, получитъ возможность производить работу. Откуда брать токъ для доставленія его въ машину—это совершенно безразлично. Его можно получать отъ гальваническихъ или термическихъ элементовъ, если это позволяютъ экономическія соображенія или требуютъ условія другого характера; онъ можетъ быть взятъ и изъ другой динамо-машины; наконецъ въ городахъ, гдѣ имѣются для доставленія электрической энергіи центральныя станціи, его можно брать прямо изъ проводовъ. Электрическій токъ является главнымъ началомъ, производящимъ работу, а динамо-машина—средствомъ, переводящимъ эту работу въ механическую энергію. Если динамо-машиной пользуются именно для этой цѣли, то она называется двигателемъ или электродвигателемъ.

Итакъ, электрическій двигатель, приводимый въ дѣйствіе токомъ, можетъ производить работу; если ось его соединить при посредствѣ ремня, системы зубчатыхъ колесъ или какимъ либо другимъ способомъ съ валомъ машины, которую надо привести въ движеніе, то эта послѣдняя начнетъ вращаться, а слѣдовательно, электродвигатель будетъ производить работу. Онъ дѣлаетъ это благодаря тому, что источникъ электричества сообщаетъ ему электрическую энергію. Электродвигатели, приводимые въ движеніе постоянными токами, какъ и динамо, бываютъ двухъ родовъ: устраиваются двигатели съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ и съ параллельнымъ. Послѣдніе большею частью употребляются особенно тамъ, гдѣ электрическій токъ берется изъ провода, идущаго съ центральной станціи, что въ настоящее время почти всегда и дѣлается. На рис. 92 изображены два маленькихъ двигателя Сименса и Гальске въ $^1/_{60}$ и $^1/_2$ лошадиной силы.

Примѣненіе электрическихъ двигателей, конечно, очень распространено. Ихъ можно употреблять почти для всѣхъ тѣхъ цѣлей, когда для вращенія рабочихъ машинъ бываетъ нужна механическая сила.

Электродвигатели, особенно если они небольшихъ размѣ-

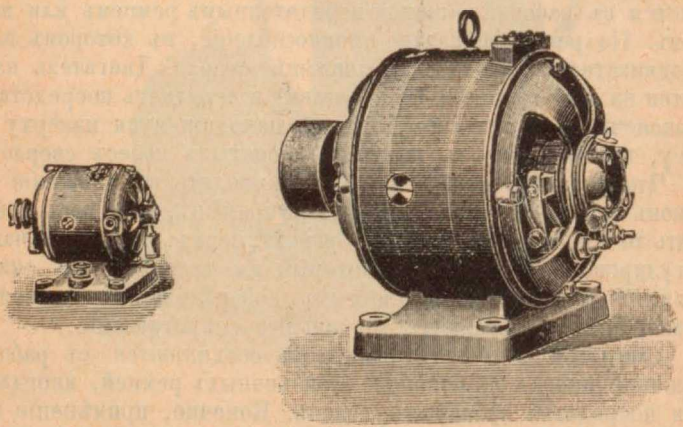


Рис. 92

ровъ, обладаютъ, вообще говоря, довольно значительною скоростью вращенія. Для соединенія электродвигателей съ ра-

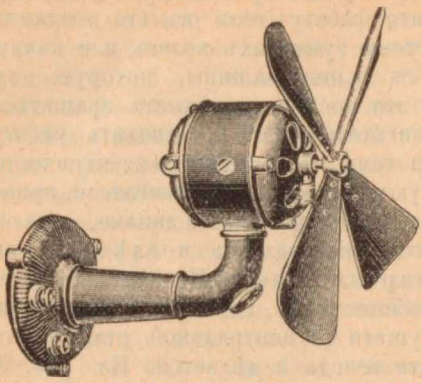


Рис. 93

бочими машинами существуетъ много извѣстныхъ способовъ. Если самимъ такимъ машинамъ нужна значительная скорость, то проще всего будетъ просто надѣть двигатель на ось этой машины (или наоборотъ) и такимъ образомъ привести послѣднюю во вращеніе. Такъ устраиваются, напримѣръ, электрическіе вентиляторы, какъ это показано на рис. 93. Крылья вентилятора просто насаживаются на ось двигателя. Вентиляторы, доставляющіе до 1.400 кубическихъ метровъ въ часъ, требуютъ отъ $^1/_8$ до $^1/_4$ лошадиной силы.

Однако въ большинствѣ случаевъ электромоторъ соединяется съ рабочей машиной передаточнымъ ремнемъ или шнуромъ. На рис. 94 показано приспособленіе, въ которомъ электродвигатель приводитъ въ движеніе сверло. Двигатель находится на лѣвой сторонѣ на подставкѣ и передаетъ посредствомъ безконечнаго ремня свое движеніе находящемуся наверху колесу, вращающему съ помощью зубчатыхъ колесъ сверло.

Чтобы электродвигатель могъ приходить въ движеніе отъ токовъ различной силы, чтобы, напримѣръ, онъ могъ совершать то бо̀льшую, то меньшую работу, передъ нимъ включаютъ регулировочный реостатъ, который мы не разъ уже описывали, и изъ котораго простымъ поворачиваніемъ рукоятки можно брать то большее, то меньшее сопротивленіе.

Двигатели большихъ размѣровъ соединяются съ рабочей машиной иногда съ помощью безконечныхъ ремней, иногда же при посредствѣ зубчатыхъ колесъ. Конечно, примѣненіе ихъ на разныхъ фабрикахъ и заводахъ ко всевозможнымъ машинамъ, кранамъ, лифтамъ и т. д. весьма разнообразно. На большихъ фабрикахъ электродвигатели очень выгодны, такъ какъ они устраняютъ большія и требующія много присмотра передачи. Вмѣсто того, чтобы передавать движеніе паровой ма-

шины на большіе валы, отъ нихъ на вторые, отъ нихъ, быть можетъ, еще и на третьи, гораздо лучше, конечно, около каждой рабочей машины или около каждой группы стоящихъ не-

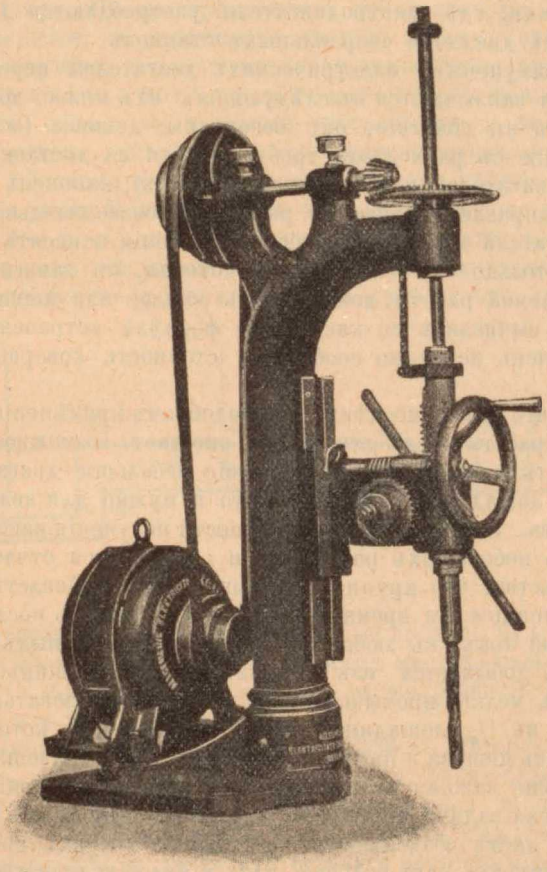


Рис. 94

далеко другъ отъ друга такихъ машинъ помѣщать электродвигатель, къ которому очень удобно подвести необходимую для него силу при посредствѣ простыхъ проволокъ. Это за-

мѣнить тѣ неудобныя передачи, въ которыхъ непроизводительно затрачивается такъ много силы. Благодаря своей безопасности и легкости, съ которою можно подвести проводъ къ двигателямъ, электрическая энергія пріобрѣла особенное значеніе въ рудникахъ, гдѣ электродвигатели употребляются для приведенія въ движеніе сверлильныхъ станковъ.

Преимущества электрическихъ двигателей передъ всѣми другими заключаются въ слѣдующемъ: ихъ можно моментально привести въ дѣйствіе; они безопасны, дешевы (особенно по сравненію съ расходами, требующимися на доставку небольшихъ двигателей, паровыхъ или газовыхъ); наконецъ ихъ дѣйствіе направлено прямо на работу. Производительность электродвигателя при неизмѣнномъ напряженіи зависитъ исключительно только отъ силы тока, которая, въ зависимости отъ совершаемой работы, можетъ быть больше или меньше. Измѣривъ и вычисливъ по какой либо формулѣ истраченную силу тока, очень нетрудно сообразить стоимость совершенной работы.

Но что особенно цѣнно при подобномъ примѣненіи электрической работы, такъ это то, что оно даетъ возможность устанавливать и приводить въ дѣйствіе небольшіе двигатели, менѣе $^1/_2$ лошадиной силы. А это-то и нужно для мелкаго производства. Недостаткомъ возможности полученія машинной работы въ небольшихъ размѣрахъ и объясняется отчасти то обстоятельство, что крупная промышленность убиваетъ мелкую. Въ настоящее же время мы имѣемъ возможность послать электрическій токъ въ любое мѣсто изъ центральныхъ станцій, гдѣ онъ добывается изъ большихъ динамо-машинъ. Такимъ образомъ мелкіе промышленники могутъ пользоваться двигателями въ $^1/_{60}$ лошадиной силы, совершаемая которыми работа очень дешева и прямо пропорціональна истраченному току.

Крайне важная національно-экономическая и соціально-политическая задача кроется въ такомъ распредѣленіи силы, которое даетъ возможность получать во многихъ промышленныхъ центрахъ какъ большое, такъ и малое количество работы. Электрическій токъ добывается на большихъ центральныхъ станціяхъ при посредствѣ силы машины или воды, а уже оттуда идетъ въ различныя мѣста. Слѣдовательно, весь вопросъ сводится къ тому, чтобы передать токъ изъ большой динамо-машины въ рядъ маленькихъ двигателей, каждый изъ которыхъ совершаетъ свою работу. При этомъ распредѣленіе силы должно

быть таково, чтобы ни одинъ двигатель не мѣшалъ другому, чтобы можно было, напримѣръ, остановить одинъ изъ нихъ, не нарушая этимъ работы другихъ двигателей.

Весьма удачное рѣшеніе этой задачи было сдѣлано Марселемъ Депре. По его предложенію, всѣ двигатели, которымъ надо совершать въ различныхъ мѣстахъ работу, включаются въ цѣпь идущаго съ центральной станціи тока параллельно. Это параллельное включеніе потребляющихъ токъ приборовъ вошло во всеобщее употребленіе и во многихъ иныхъ случаяхъ,—напримѣръ, при электрическомъ освѣщеніи. На рис. 95 схематически показанъ способъ подобнаго включенія. На немъ М изображаетъ машину, производящую токъ, а 1, 2, 3 и т. д. до 10 — рядъ электродвигателей. Такимъ образомъ, токъ отъ источника идетъ по двумъ проводамъ НН и GG, между которыми включаются параллельно отдѣльные

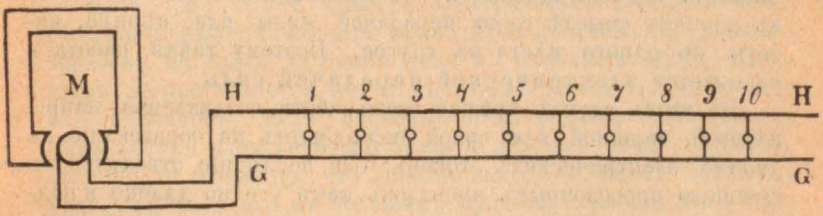


Рис. 95

электродвигатели. Если соединительные проводы будутъ имѣть очень малое сопротивленіе, то во всѣхъ мѣстахъ проводниковъ НН и GG будетъ приблизительно та же разность напряженій, что и у зажимовъ машины.

Выраженная въ ваттахъ величина работы, которую электродвигатель можетъ произвести въ секунду, равна произведенію изъ напряженія у зажимовъ на имѣющуюся въ двигателѣ силу тока. Если напряженіе у зажимовъ въ каждомъ параллельно включенномъ двигателѣ остается постояннымъ, то сила имѣющагося въ немъ тока зависитъ исключительно отъ величины производимой работы. Если можно добиться того, чтобы напряженіе у зажимовъ каждаго электродвигателя было постоянно одинаково, то, что бы ни происходило въ цѣпи, каждый изъ электродвигателей будетъ совершенно независимъ отъ процессовъ, происходящихъ въ другихъ машинахъ. Это

необходимо для удовлетворенія единственнаго требованія—постоянства напряженія у зажимовъ на концахъ всякаго электродвигателя. При параллельномъ включеніи электродвигателей и очень небольшомъ сопротивленіи главныхъ проводовъ необходимо, чтобы напряженіе у зажимовъ машины, дающей токъ, постоянно оставалось однимъ и тѣмъ же. Изъ этого слѣдуетъ, что лучше всего получать токъ отъ машинъ съ параллельнымъ возбужденіемъ, такъ какъ въ нихъ регулировка напряженія у зажимовъ очень проста. При пользованіи такими динамо-машинами вопросъ о распредѣленіи работы рѣшается самъ собою.

Какъ это уже было сказано выше, для электродвигателя совершенно безразлично, откуда берется питающій его токъ. Послѣдній можно было бы брать отъ гальваническихъ и термическихъ элементовъ, но обыкновенно его берутъ отъ динамо-машинъ. Въ послѣднемъ случаѣ производимая работа будетъ въ полномъ смыслѣ слова передачей силы или, вѣрнѣе, работы съ одного мѣста на другое. Поэтому такая работа и называется электрической передачей силы.

Въ этомъ случаѣ прежде всего работа, создаваемая, напр., паровой машиной или силой воды, идетъ на образованіе въ динамо электрическихъ токовъ; эти послѣдніе отводятся съ помощью проволочныхъ проводовъ какъ угодно далеко и подходятъ ко второй машинѣ, къ электродвигателю, якорь котораго приходитъ тогда во вращеніе. Вращеніе же это можетъ заставить исполнять работу второй двигатель, если его можно передать на какую либо рабочую машину съ помощью ремней, зубчатыхъ колесъ или инымъ способомъ. Такъ какъ обѣ динамо-машины (какъ создающая токъ, такъ и исполняющая работу) могутъ отстоять одна отъ другой какъ угодно далеко, то въ нихъ мы, слѣдовательно, и имѣемъ одно изъ средствъ передачи работы съ какого либо мѣста на другое. На практикѣ этимъ пользуются для того, чтобы электрическую энергію получать тамъ, гдѣ производительная сила дешева; эту же послѣднюю переводятъ посредствомъ электричества туда, гдѣ она дорога. Такая электрическая передача работы служитъ главнымъ образомъ для того, чтобы заставить силу воды выполнять работу въ далеко отстоящихъ отъ мѣстонахожденія воды мѣстностяхъ. Для приведенія въ дѣйствіе динамо-машинъ можно пользоваться энергіей водопадовъ и вообще текучей воды, которую сама природа даетъ намъ въ столь

неограниченномъ количествѣ, что пользованіе ею обходится часто несравненно дешевле, чѣмъ устройство установокъ, о которыхъ говорилось выше. Хотя при электрической передачѣ силы на болѣе или менѣе значительныя разстоянія и теряется порою до 25% работы, а всетаки во многихъ случаяхъ выгодно примѣнять къ совершенію работы тѣ непосредственныя силы природы, которыя безъ этого были бы совершенно безполезны. Дѣйствительно, использованіе водяной силы электрическимъ путемъ сдѣлало за послѣдніе годы громадные успѣхи. Въ этомъ отношеніи во главѣ всѣхъ странъ стала Швейцарія; въ Германіи заводчики также научились понемногу цѣнить подобную передачу работы и поняли, какія громадныя выгоды она приноситъ. Въ Рейнфельденѣ возлѣ Рейнскаго водопада, на Шпре и т. д. постепенно образуются цѣлые промышленные города, получающіе для своей работы силу электрическимъ путемъ.

Есть еще одинъ способъ электрической передачи силы. Всѣ наши рабочія машины приводятся въ движеніе главнымъ образомъ на счетъ сгоранія угля въ паровыхъ двигателяхъ; уголь же доставляется на то мѣсто, гдѣ находятся послѣдніе, изъ рудниковъ. Если расходы по перевозкѣ угля больше, чѣмъ потеря электрической энергіи при передачѣ ея на разстояніе, то очевидно, что гораздо выгоднѣе, вмѣсто перевозки угля, сжигать его въ большихъ паровыхъ машинахъ въ самихъ рудникахъ, а полученную такимъ образомъ силу передавать электрическимъ путемъ туда, гдѣ хотятъ ею воспользоваться. Такая же выгода электрической передачи силы представляется и тамъ, гдѣ приводится въ движеніе цѣлый рядъ далеко отстоящихъ другъ отъ друга маленькихъ машинъ. Опытомъ дознано, что расходы по потребленію угля для небольшихъ паровыхъ машинъ, въ нѣсколько лошадиныхъ силъ, почти вдвое, а то и втрое больше расходовъ угля въ большихъ машинахъ, мощностью въ 50—100 силъ. Слѣдовательно, если, вмѣсто нѣсколькихъ маленькихъ паровыхъ машинъ, установить одну большую и производимую ею работу перевести электрическимъ путемъ въ разныя мѣста, то такимъ образомъ можно достичь значительной экономіи въ расходахъ по устройству и содержанію станцій. Изъ нѣсколькихъ такихъ примѣровъ можно ясно представить себѣ, какое большое преимущество имѣетъ электрическая передача энергіи передъ всѣми другими.

Электрическая передача, подобная только что описанной, непремѣнно требуетъ цѣлаго ряда машинъ. Во первыхъ, нужна машина, создающая силу,—двигатель; таковою можетъ быть турбина, паровой или газовый двигатель, а равно и механизмъ, приводящійся въ движеніе вѣтромъ. Движеніе этого двигателя передается динамо-машинѣ, въ которой механическая работа обращается въ электричество. Такая динамо называется первичной машиной. Получающіеся въ ней электрическіе токи идутъ ко второй динамо, ко вторичной машинѣ, якорь которой приходитъ отъ нихъ во вращеніе и можетъ совершить нѣкоторую работу. При такомъ расположеніи всякой электрической передачи силы нуженъ по крайней мѣрѣ двигатель, первичная и вторичная динамо-машины.

Разсмотримъ нѣсколько подробнѣе разнаго рода соотношенія, имѣющія мѣсто при подобной передачѣ силы.

Вся работа, передаваемая въ каждую секунду газовымъ двигателемъ или турбиной первичной машинѣ, распредѣляется слѣдующимъ образомъ:

Во первыхъ, она служитъ для преодолѣнія сопротивленія, вызываемаго треніемъ первичной машины.

Во вторыхъ, она создаетъ въ металлическихъ массахъ первичной машины индукціонные, такъ называемые паразитные токи, превращающіеся, какъ мы увидимъ ниже, въ теплоту и безполезные какъ для выполненія работы, такъ и для преодолѣнія тренія.

Въ третьихъ, она создаетъ въ первичной машинѣ нѣкоторую электродвижущую силу, посылающую по проводамъ электрическій токъ во вторичную машину.

Весь, выраженный въ ваттахъ, эффектъ этого тока равенъ произведенію изъ электродвижущей силы (въ вольтахъ) на силу тока (въ амперахъ). Но только часть его расходуется въ самой машинѣ (обращаясь въ ней также въ теплоту); тотъ же эффектъ, который передается по проводамъ во вторичную машину, равенъ только произведенію напряженія у зажимовъ машины (которое меньше электродвижущей силы) на силу тока.

Этотъ эффектъ во внѣшней цѣпи служитъ для выполненія слѣдующихъ двухъ требованій. Часть его тратится въ проводахъ между первичной и вторичной машинами на ихъ нагрѣваніе, о чемъ мы будемъ говорить ниже. Эту работу назовемъ потерей въ проводахъ. Экономически онъ

имѣетъ значеніе, только какъ потеря, и, конечно, одной изъ нашихъ задачъ является возможно большее сокращеніе этой потери. Оставшаяся же часть энергіи будетъ поглощена вторичной машиной. Лишь эта часть и имѣетъ значеніе, въ смыслѣ производительности электрической передачи силы. На зажимахъ вторичной машины имѣется нѣкоторое опредѣленное напряженіе, которое, будучи помножено на силу тока, и дастъ выраженное въ ваттахъ количество энергіи, поглощаемой вторичною машиною. Отчасти эта энергія будетъ затрачена безполезно на преодолѣваніе тренія и на образованіе ненужной теплоты; часть же ея пойдетъ, съ другой стороны, на выполненіе той полезной работы, которая требуется отъ вторичной машины (напр., на поднятіе воды). Отношеніе полезно-затраченной работы во вторичной машинѣ ко всей работѣ, затраченной на машину первичную, называется коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія передачи силы. Само собой разумѣется, что отношеніе это тѣмъ больше, чѣмъ меньше потеря въ проводахъ, а потеря въ проводахъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше сила тока.

Поэтому, чтобы имѣть возможность передавать большія количества работы съ ничтожной потерей въ проводахъ, а слѣдовательно, съ ничтожной силой тока,—необходимо сдѣлать очень высокимъ напряженіе употребляющихся токовъ. Вѣдь работа, которую можетъ выполнить машина, зависитъ отъ произведенія ея напряженія на силу тока. Если поэтому желательно, чтобы послѣдняя была незначительна, то, при условіи постоянства количества работы, необходимо, чтобы напряженіе было достаточно велико.

При устройствѣ электрической передачи силы изъ Кригштеттена въ Золотурнъ (въ Швейцаріи) на разстояніе въ 8 километровъ были сдѣланы слѣдующія вычисленія и измѣренія:

напряженіе у зажимовъ первичной машины = 1753,3 вольта;

напряженіе у зажимовъ вторичной машины = 1655,9 вольта.

Слѣдовательно, на разстояніи въ 8 километровъ потеря напряженія въ проводахъ была равна 97,4 вольта, а отношеніе обоихъ напряженій у зажимовъ, отъ котораго зависитъ полезное дѣйствіе передачи, выражалось числомъ $\frac{1655,9}{1753,3}=0,944$.

Еслибы длина проводки увеличилась вдвое, сдѣлавшись

вмѣсто 8 километровъ равною 16, то потеря въ проводахъ равнялась бы 194,8 вольта. А чтобы и при такой потерѣ въ проводахъ отношеніе напряженій у зажимовъ обѣихъ машинъ осталось тѣмъ же, какимъ было и раньше, нужно было бы каждое изъ этихъ напряженій увеличить почти вдвое: въ первичной машинѣ оно должно было бы равняться 3480 вольтъ, а во вторичной—3285,2. Тогда, несмотря на болѣе значительную потерю въ проводахъ, полезная работа осталась бы той же, какой была и въ первомъ случаѣ: она равнялась бы $\frac{3285,2}{3480}=0,944$.

Такимъ образомъ полезную работу можно передавать на далекія разстоянія по обыкновеннымъ телеграфнымъ проводамъ; для этого нужно только, чтобы у обѣихъ машинъ были очень высокія напряженія.

Что же касается послѣднихъ, то ихъ, какъ это было уже упомянуто, гораздо легче получить съ помощью альтернаторовъ, чѣмъ машинами постояннаго тока, потому что въ послѣднихъ очень опасную часть машины составляетъ коллекторъ, совершенно отсутствующій въ первыхъ. Но долгое время, вплоть до 1889 года, вообще считалось невозможнымъ приводить электродвигатели въ дѣйствіе перемѣнными токами; до того времени считалось, что постоянные токи оставляютъ далеко за собою токи перемѣнные, и что производительность электрической работы не можетъ быть достаточно выгодной и простой.

Поэтому очень важнымъ открытіемъ было открытіе Феррариса и Тесла, показавшихъ, что для производства механической работы съ помощью электрической энергіи можно примѣнять очень просто два и болѣе перемѣнныхъ токовъ съ различными фазами. Но всеобщее распространеніе этотъ методъ пріобрѣлъ лишь въ 1891 году, когда Всеобщая Компанія Электричества въ Берлинѣ и машинный заводъ въ Эрликонѣ построили по этой системѣ двигатели перемѣннаго тока, названные ими *двигателями трехфазнаго тока*. Съ тѣхъ поръ подобные двигатели разнаго рода конструируются и многими другими заводами.

Если пропускать вокругъ неподвижнаго кольца изъ мягкаго желѣза, надлежаще расположеннаго, два или три перемѣнныхъ тока, имѣющихъ различныя фазы, т. е. достигающихъ наибольшаго значенія силы тока въ различное время и въ

различное время мѣняющихъ направленіе тока, то кусокъ желѣза или какого нибудь другого металла, находящійся внутри окруженнаго такими токами кольца, начнетъ вращаться. На рис. 96 изображено такое неподвижное кольцо изъ мягкаго желѣза, вокругъ котораго пробѣгаютъ по нѣсколькимъ обмоткамъ два перемѣнныхъ тока: одинъ изъ нихъ проходитъ по обмоткамъ, находящимся на двухъ діаметрально противоположныхъ мѣстахъ кольца a и a', а другой—по обмоткамъ b и b',

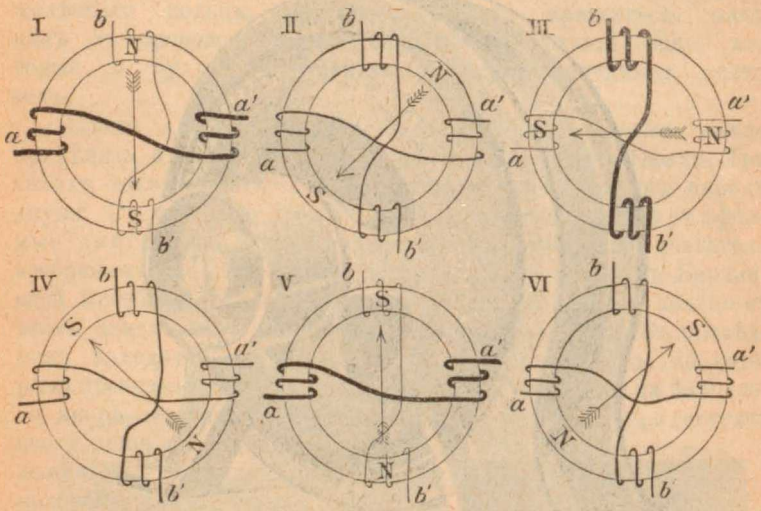


Рис. 96

изъ которыхъ каждая отстоитъ отъ двухъ первыхъ на 90°. Вслѣдствіе разности фазъ обоихъ этихъ перемѣнныхъ токовъ одинъ изъ нихъ будетъ имѣть наибольшую силу какъ разъ въ то время, когда сила другого будетъ равна нулю. На рисункѣ различныя силы тока въ тѣхъ или другихъ проволочныхъ оборотахъ означены линіями различной толщины. Изъ перваго рисунка видно, что сильный токъ имѣется въ aa', тогда какъ въ обмоткахъ bb' сила тока равна нулю. Желѣзное кольцо намагничивается токомъ въ aa' такимъ образомъ, что сѣверный и южный полюсы находятся въ точкахъ N и S, какъ это слѣдуетъ по правилу Ампера. Магнитная иголка, могущая внутри кольца вращаться на остріи, принимаетъ, слѣдовательно, положеніе, указанное стрѣлкой.

Когда по обмоткамъ начинаютъ протекать перемѣнные токи, они то имѣютъ максимальную силу, то ихъ сила равна нулю, то они снова получаютъ максимальную, но отрицательную силу, и т. д. Но всѣ эти измѣненія происходятъ въ обмоткахъ *aa'* и *bb'* не одновременно. Благодаря этому полюсы кольца смѣщаются. Въ I токъ *aa'* силенъ, токъ *bb'* слабъ,—магнитная стрѣлка имѣетъ указанное положеніе. Въ

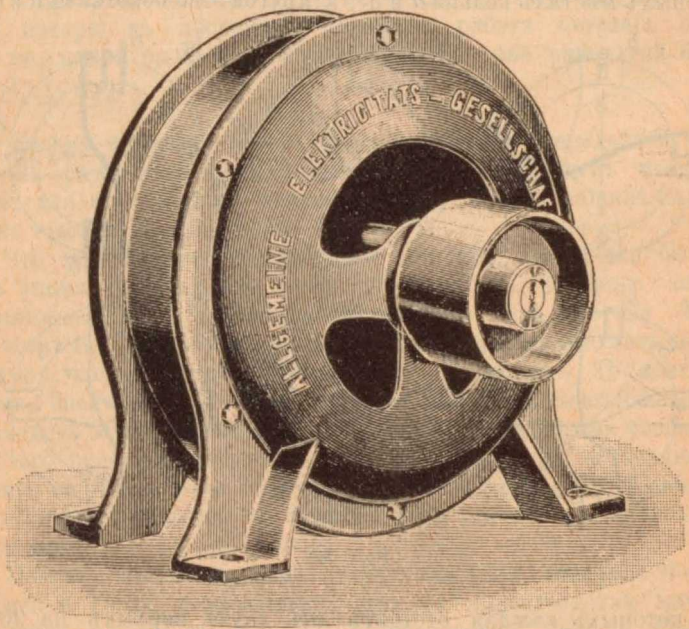


Рис. 97

II токи *aa'* и *bb'* одинаковой силы,—полюсы находятся въ N и S, и стрѣлка имѣетъ косое направленіе. На слѣдующемъ рисункѣ токъ *bb'* имѣетъ maximum, токъ *aa'* равенъ нулю, полюсы N и S повернуты, а за ними слѣдуетъ и магнитная стрѣлка. И такъ далѣе.

Результатомъ разсмотрѣнныхъ процессовъ является то обстоятельство, что если по неподвижнымъ обмоткамъ проходятъ вокругъ желѣзнаго кольца два перемѣнныхъ тока различныхъ фазъ, то находящаяся внутри кольца магнитная

стрѣлка приходитъ въ постоянное вращеніе, которое и продолжается до тѣхъ поръ, пока существуютъ токи. Въ середину кольца, вмѣсто магнитной стрѣлки, можно внести и кусокъ ненамагниченнаго желѣза. Благодаря магнитной индукціи онъ получаетъ возможность вращаться, такъ какъ становится магнитнымъ. Можно брать также и цилиндръ, снабженный рядомъ проволочныхъ оборотовъ, замкнутыхъ на себя или разомкнутыхъ: стоитъ только ввести его внутрь желѣзнаго кольца, и онъ начинаетъ вращаться, такъ какъ въ проволокахъ возбуждаются индукціей токи, которые и будутъ притягиваться перемѣщающимся полюсомъ.

Вмѣсто двухъ различныхъ перемѣнныхъ токовъ можно примѣнять и три тока, находящіеся въ разныхъ фазахъ. Три такихъ тока имѣютъ даже нѣкоторое преимущество передъ двумя. Съ помощью трехъ токовъ можно получить трехфазные двигатели. Общій видъ такого трехфазнаго двигателя изображенъ на рис. 97, представляющемъ двигатель Берлинской Всеобщей Компаніи Электричества. Желѣзное кольцо въ этихъ двигателяхъ замѣнено внѣшнимъ кожухомъ. Въ послѣднемъ находятся три различныя системы катушекъ, по которымъ проходятъ перемѣнные токи. Внутри такого кольца находится якорь, изображенный отдѣльно на рис. 98. Якорь состоитъ всего лишь изъ одного ряда положенныхъ на цилиндръ мѣдныхъ полосокъ, соединенныхъ снаружи металлическимъ кольцомъ. Въ этихъ двигателяхъ прежде всего бросается въ глаза слѣдующая особенность. Подвижной ихъ части, якорю, вовсе не нужно коллектора или щетокъ, существенно необходимыхъ въ машинахъ постояннаго тока, но токи съ подвижныхъ частей прямо индуктируются токами въ неподвижной части. Это— первая, огромная выгода, такъ какъ коллекторъ со щетками составляетъ наиболѣе чувствительную часть машинъ постояннаго тока и наиболѣе подверженную порчѣ. Въ трехфазныхъ двигателяхъ ось якоря связана обычнымъ путемъ съ машиной, производящей работу. На эту ось надѣвается передаточный

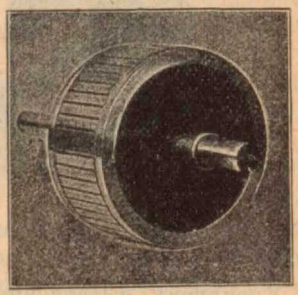


Рис. 98

ремень, идущій къ рабочей машинѣ. Поэтому-то трехфазные двигатели и являются самыми простыми: они даже проще двигателей постояннаго тока. Съ ихъ изобрѣтеніемъ производительность работы перемѣнными токами сдѣлала громадный шагъ впередъ. Для включенія такого двигателя три провода, идущіе изъ трехфазной сѣти (обыкновенно отъ установленной на центральной станціи первичной машины), направляются, какъ это показано на рис. 99, въ выключатель, а уже оттуда токи идутъ въ двигатель.

Съ помощью такихъ трехфазныхъ двигателей можно примѣнять для выполненія работы перемѣнные и трехфазные токи, пользуясь, слѣдовательно, тѣми преимуществами, которыя они имѣютъ передъ токами постоянными, а именно дешевой передачей электрической энергіи.

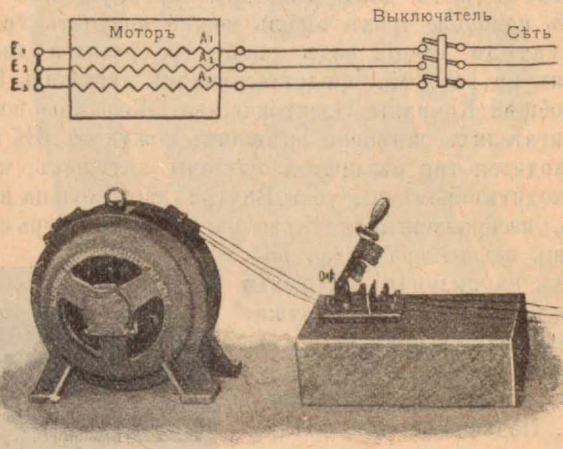


Рис. 99

Упомянемъ кстати еще объ одномъ обстоятельствѣ. Мы уже говорили, что электрическая энергія очень дешево можетъ передаваться на далекія разстоянія съ мѣста, гдѣ получаются токи, если послѣдними пользоваться при тѣхъ условіяхъ, чтобы ихъ напряженіе было очень велико, а сила — ничтожна. Но этой дешевизной дѣло не ограничивается. На мѣстѣ потребленія токи требуются, напротивъ того, большой силы, а высокое напряженіе такъ опасно, что имъ почти нельзя

пользоваться. Передъ нами выростаетъ новая задача, состоящая въ томъ, чтобы трансформивать токъ, чтобы высокое напряженіе и небольшую силу тока обращать въ низкое напряженіе и довольно значительную силу.

Иногда и въ источникѣ тока послѣдній получается не въ томъ видѣ, какой необходимъ для проведенія электрической энергіи на далекія разстоянія. Часто онъ обладаетъ очень незначительнымъ напряженіемъ. Тогда его сперва надо трансформировать въ высокое напряженіе, а это послѣднее уже въ концѣ проводовъ обратить въ напряженіе низкое.

Такая задача трансформированія энергіи электрическаго тока для перемѣнныхъ токовъ, хотя и не вполнѣ совершенно, уже рѣшена въ индукціонныхъ аппаратахъ, конструируемыхъ еще со временъ Фарадея и уже описанныхъ нами на стр. 100. Они, какъ извѣстно, состоятъ изъ первичной и вторичной проволочныхъ катушекъ, изъ которыхъ одна (обыкновенно первичная) вставлена въ другую. Въ продольное отверстіе внутренней катушки вставляется еще желѣзный сердечникъ, который, для уменьшенія въ немъ паразитныхъ токовъ, дѣлается обыкновенно изъ желѣзныхъ проволокъ. Если по первичной катушкѣ такого индукціоннаго аппарата пропускать перемѣнные токи, полученные гдѣ либо внѣ катушки, хотя бы альтернаторомъ, то каждая перемѣна, каждое измѣненіе силы первичнаго тока возбуждаетъ индукціонные токи и во вторичной обмоткѣ. Въ послѣдней будутъ, слѣдовательно, возникать такіе же перемѣнные токи, какіе имѣются и во внѣшней цѣпи.

При прочихъ равныхъ условіяхъ напряженіе индукціоннаго тока зависитъ отъ числа витковъ на вторичной катушкѣ. Изъ этого слѣдуетъ, что разъ намъ данъ первичный перемѣнный токъ, то мы можемъ получить любое напряженіе и во вторичной обмоткѣ: для этого надо только либо увеличить, либо уменьшить на ней число витковъ. Нетрудно достигнуть, чтобы во вторичной обмоткѣ было болѣе высокое напряженіе, чѣмъ въ первичной: для этого надо только сдѣлать такъ, чтобы въ первой витковъ было больше, чѣмъ во второй. Легко сдѣлать также и обратно, т. е. чтобы у вторичнаго тока напряженіе было меньше напряженія тока первичнаго. Въ этомъ случаѣ вторичную обмотку надо снабдить меньшимъ числомъ витковъ, чѣмъ первичную. Наконецъ можно устроить и такъ, чтобы напряженія первичнаго и вторичнаго токовъ были одинаковы: стоитъ только сдѣлать витки обѣихъ обмотокъ сим-

метричными, т. е. взять для первичной катушки столько же витковъ, сколько и для вторичной.

Подобными индукціонными аппаратами, слѣдовательно, допускается возможность трансформированія перемѣнныхъ токовъ.

Главнымъ требованіемъ, предъявляемымъ къ каждому примѣняемому на практикѣ трансформатору, является то, чтобы онъ производилъ вышеуказанныя превращенія электрической энергіи безъ значительныхъ потерь. Другими словами, идущая съ зажимовъ вторичной обмотки во внѣшнюю цѣпь электрическая энергія не должна быть много меньше энергіи, поступающей съ зажимовъ первичной обмотки въ эту послѣднюю. Съ большимъ приближеніемъ можно достигнуть этого, помѣщая какъ первичную, такъ и вторичную обмотки на желѣзный сердечникъ, имѣющій видъ цѣльнаго желѣзнаго кольца. Проходящіе по первичной обмоткѣ перемѣнные токи будутъ намагничивать желѣзный сердечникъ, причемъ мѣста полюсовъ все время будутъ измѣняться. Число силовыхъ линій сердечника, начиная съ нуля, станетъ, увеличиваясь, доходить до максимума и затѣмъ снова обращаться постепенно въ нуль. Подобное измѣненіе числа силовыхъ линій будетъ происходить при этомъ и во вторичной обмоткѣ; въ послѣдней всѣми силовыми линіями создаются индукціонные токи. Само собой разумѣется, что совершенно сравнять энергію въ первичной и вторичной цѣпяхъ невозможно, такъ какъ должна быть и неизбѣжная потеря энергіи, обусловливаемая, во первыхъ, нагрѣваніемъ токомъ обѣихъ обмотокъ и сердечника, т. е. паразитными токами, а затѣмъ и гистерезисомъ желѣза, о которомъ уже говорилось выше (см. стр. 58).

Благодаря этимъ потерямъ имѣющаяся въ нашемъ распоряженіи энергія у зажимовъ вторичной обмотки будетъ, слѣдовательно, непремѣнно меньше той, которая поглощается первичной обмоткой. Отношеніе обѣихъ этихъ энергій носитъ названіе коэффиціента полезнаго дѣйствія трансформатора и выражается въ процентахъ.

Въ новѣйшихъ типахъ трансформаторовъ потери такъ ничтожны, что полезное дѣйствіе доходитъ до 96%.

Внѣшній видъ подобнаго трансформатора перемѣннаго тока изображенъ на рис. 100. Его желѣзный сердечникъ представленъ отдѣльно на рис. 101. На этотъ цѣльный замкнутый желѣзный сердечникъ надѣваются катушки, обматываемыя отдѣленными другъ отъ друга первичной и вторичной обмот-

ками. Весь приборъ закрытъ круглымъ желѣзнымъ кожухомъ. Во всякомъ трансформаторѣ различаются обмотки высокаго напряженія и обмотки низкаго напряженія. Послѣднія называются также проводами потребленія. Обѣ обмотки, конечно, заканчиваются зажимами, утверждаемыми обыкновенно на кожухѣ.

Въ настоящее время трансформаторы предназначаются обыкновенно для 80—100 перемѣнъ полюсовъ въ секунду. Въ

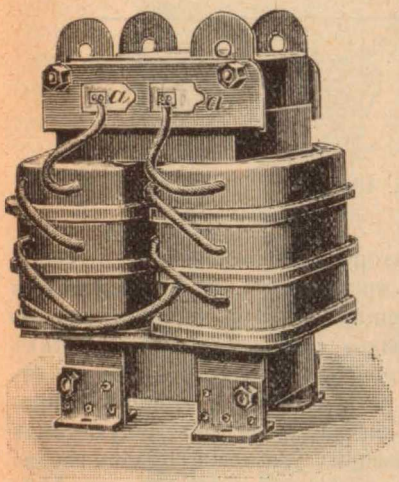


Рис. 100

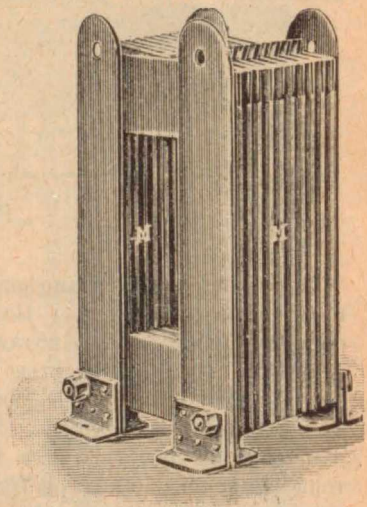


Рис. 101

нѣкоторыхъ трансформаторахъ первичное напряженіе берется въ 1.000, 2.000, 3.000 и болѣе вольтъ и перерабатывается трансформаціей, смотря по желанію, въ 100, 200, 500 вольтъ. Отношеніе первичнаго и вторичнаго напряженій называется коэффиціентомъ трансформаціи трансформаторовъ. Если, напримѣръ, мы трансформируемъ 5.000 вольтъ въ 100, то это значитъ, что коэффиціентъ трансформаціи нашего трансформатора равняется 50. Если вторичная обмотка даетъ свою максимальную силу тока или, какъ говорятъ, совершенно нагружена, то трансформаторы работаютъ, какъ уже сказано, съ полезнымъ дѣйствіемъ въ 96%. Если трансформаторами надо въ различныхъ мѣстахъ получить изъ высокаго напряженія токи низкаго напряженія, то въ провода высокаго

напряженія включаютъ всѣ трансформаторы параллельно и берутъ затѣмъ отъ вторичной обмотки каждаго изъ нихъ токъ низкаго напряженія. На рис. 102 изображена динамо-машина M, даваемый которою токъ имѣетъ высокое напряженіе и идетъ въ два главные провода. Между этими послѣдними включены параллельно трансформаторы T_1, T_2, T_3; ихъ вторичныя обмотки выходятъ въ совершенно независимыя другъ отъ друга сѣти L_1, L_2, L_3, въ которыя можно включать обыкновеннымъ путемъ двигатели или лампы.

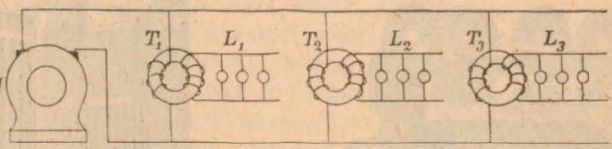


Рис. 102

Особый случай трансформаторовъ составляютъ трехфазные трансформаторы. Подъ трехфазнымъ токомъ разумѣется система трехъ токовъ, обладающихъ нѣкоторою, по отношенію другъ къ другу, разностью фазъ. Каждый изъ трехъ этихъ токовъ можно при трансформированіи пропустить черезъ отдѣльный трансформаторъ. Въ такомъ случаѣ трансформированные токи будутъ имѣть ту же разность фазъ, какую имѣли токи первичные. Всѣ три трансформатора можно однако соединить въ одномъ приборѣ, какъ это показано на рис. 103, изображающемъ трехфазный трансформаторъ Сименса и Гальске. Въ немъ имѣются три желѣзныхъ сердечника, на каждомъ изъ которыхъ имѣется по двѣ системы обмотокъ, первичной и вторичной. Сверху и снизу всѣ три сердечника соединены между собой желѣзомъ, благодаря чему каждый сердечникъ замыкается двумя другими и образуетъ такимъ образомъ кольцеобразный магнитъ. Въ *a*, *b* и *c* видны зажимы для проводовъ высокаго напряженія (тонкая проволока для тока небольшой силы и большого напряженія); въ A, B и C находятся зажимы для проводовъ потребленія (толстая проволока для токовъ большой силы, но низкаго напряженія). Весь приборъ заключенъ въ кожухѣ изъ перфорированнаго желѣза.

Благодаря возможности трансформированія низкихъ напряженій въ высокія и обратно, перемѣнные и трехфазные токи

пріобрѣли особенное значеніе для передачи работы на далекія разстоянія. Въ этихъ случаяхъ можно пользоваться въ проводахъ исключительно только токами высокаго напряженія, по-

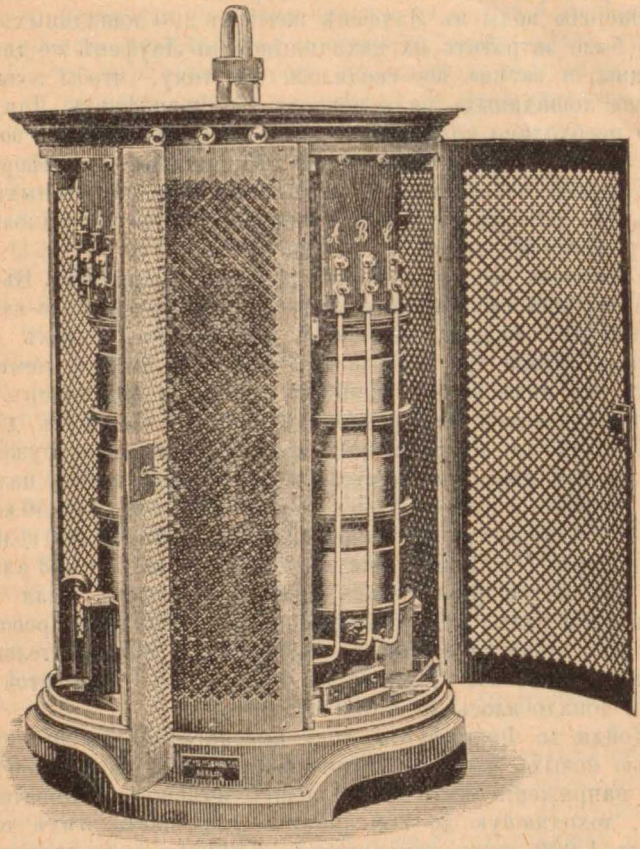


Рис. 103

лучая путемъ трансформированія въ мѣстахъ потребленія токи низкаго напряженія, но большой силы.

Опыты 1891 года, произведенные Берлинской Всеобщей Компаніей Электричества совмѣстно съ фабрикой машинъ въ

Эрликонѣ, показали, какихъ результатовъ можно достигнуть, идя такимъ путемъ. Эти фирмы вполнѣ успѣшно сдѣлали установку передачи энергіи изъ Лауфена во Франкфуртъ-на-Майнѣ, на разстояніе 175 километровъ.

Энергію воды въ Лауфенѣ почти въ 200 лошадиныхъ силъ надо было затратить на находящіяся въ Лауфенѣ же динамо-машины, а затѣмъ все сводилось къ тому, чтобы возможно больше лошадиныхъ силъ передать во Франкфуртъ. Для этого было необходимо колоссальное напряженіе до—15.000 вольтъ, чего можно было достичь только съ помощью трансформаторовъ черезъ посредство перемѣнныхъ или трехфазныхъ токовъ. Въ данномъ случаѣ для передачи энергіи остановились на трехфазномъ токѣ.

Установка была выполнена слѣдующимъ образомъ. Въ Лауфенѣ турбина приводила въ движеніе большую динамо-машину трехфазнаго тока, поглощавшую до 300 лошадиныхъ силъ. Машина давала три отдѣльныхъ тока, съ напряженіемъ каждаго изъ нихъ въ 50 вольтъ и съ силой до 1.400 амперъ. Токи эти направлялись черезъ короткій мѣдный кабель съ діаметромъ въ 27 мм. въ первичный трансформаторъ, погруженный для лучшей изоляціи въ масло и получившій потому названіе *маслянаго трансформатора*. Всѣ три тока съ 50 вольтъ и 1.400 амперъ трансформировались тамъ въ 15.000 вольтъ и 4,3 ампера. Послѣдніе токи, силою всего лишь въ 4,3 ампера, шли дальше по сравнительно тонкимъ проводамъ, для которыхъ были взяты три сравнительно тонкія мѣдныя проволоки, въ 4 мм. діаметромъ каждая, протянутыя, подобно телеграфнымъ линіямъ, изъ Лауфена во Франкфуртъ. Для этой проводки понадобилось до 3.000 столбовъ.

Дойдя до Франкфурта, токи высокаго напряженія съ помощью новыхъ масляныхъ трансформаторовъ обращались въ токи напряженія всего въ 100 вольтъ, имѣвшіе, слѣдовательно, силу, доходившую до 700 амперъ. Одна часть этихъ токовъ питала 1.000 лампъ накаливанія, а другая приводила въ движеніе нѣсколько трехфазныхъ двигателей. Одинъ изъ нихъ приводилъ, между прочимъ, въ дѣйствіе насосъ, благодаря которому во Франкфуртѣ получался водопадъ до 10 метровъ высотою. Такимъ образомъ часть энергіи Лауфенскаго водопада, пройдя послѣ нѣсколькихъ превращеній путь въ 175 километровъ, обращалась снова въ энергію водопада, но уже во Франкфуртѣ.

Произведенныя измѣренія показали, что изъ всей энергіи Лауфенскаго водопада во Франкфуртѣ было использовано 74%.

Этотъ опытъ ясно показалъ, что вполнѣ выполнимы электрическія установки передачи энергіи на большія разстоянія, и что полезное ихъ дѣйствіе достаточно велико. Разъ только найдено, что передача энергіи на далекія разстоянія выгодна, то практическое ея выполненіе не представляетъ уже въ настоящее время никакихъ затрудненій.

До сихъ поръ всѣ наши разсмотрѣнія касались только неподвижныхъ установокъ для передачи энергіи. На мѣстѣ оставалась не только первичная динамо съ приводящей ее въ дѣйствіе турбиной или паровой машиной, но и вторичная, совершавшая работу.

Съ тѣхъ поръ, какъ электричество заняло одно изъ мѣстъ среди силъ, выполняющихъ тяжелыя работы, и оказалось, благодаря скорости и легкости передачи, въ состояніи производить работу въ нѣкоторомъ разстояніи отъ порождающаго его источника,—съ этого же времени явилась и возможность примѣнять электричество для приведенія въ движеніе желѣзныхъ дорогъ, трамваевъ, лодокъ и т. п.

Принципъ электрической желѣзной дороги, впервые высказанный и осуществленный на практикѣ Вернеромъ Сименсомъ, состоитъ въ слѣдующемъ: если электрическій токъ извнѣ направить въ динамо-машину, въ электродвигатель, то ихъ якорь начинаетъ вращаться. Если вращеніе якоря сообщить какъ нибудь катящимся по рельсамъ колесамъ, то они должны будутъ начать двигаться вмѣстѣ съ электродвигателемъ и прочно связанными съ послѣднимъ вагонами, — и электрическая желѣзная дорога готова!

Подобное же заданіе представляетъ собою только частный случай болѣе общей проблемы, заключающейся въ электрической передачѣ энергіи. Гдѣ либо получается электрическій токъ (безразлично, будетъ ли его производить стоящая невдалекѣ отъ дороги динамо-машина или батареи), который входитъ въ электродвигатель желѣзнодорожнаго вагона, и послѣдній приходитъ въ движеніе. Въ сущности говоря, мы видимъ здѣсь не что иное, какъ обыкновенную электрическую передачу работы.

Но въ этомъ частномъ случаѣ мы наталкиваемся на нѣкоторыя спеціальныя затрудненія. У насъ невольно является

вопросъ, какъ же подвести къ вагону (къ двигателю) токъ. Въ неподвижной установкѣ передачи энергіи намъ приходится имѣть дѣло съ опредѣленнымъ разстояніемъ между первичной динамо и электродвигателемъ, на которомъ можно установить неподвижные провода. Что же касается электрической желѣзной дороги, то здѣсь моторъ передвигается, его разстояніе отъ первичной динамо не постоянно, такъ какъ онъ то приближается къ ней, то удаляется отъ нея; вслѣдствіе же этого постоянно должна мѣнять свое положеніе и сдѣланная для тока проводка. Подобный вопросъ дѣйствительно оказывается однимъ изъ самыхъ трудныхъ при устройствѣ электрическихъ желѣзныхъ дорогъ.

Самымъ простымъ и естественнымъ казалось бы приспособить для проводки рельсы, что и было осуществлено на практикѣ Сименсомъ и Гальске въ ихъ первомъ разрѣшеніи этой задачи.

Вскорѣ однако это оказалось невполнѣ удобнымъ. Въ сырую погоду, а особенно если между рельсами попадаетъ тающій снѣгъ, рельсы соединяются проводникомъ, вслѣдствіе чего входящій въ двигатель токъ сильно ослабѣваетъ. Поэтому стали изыскивать средства, которыя позволили бы провести въ вагонъ токъ по возможности безъ потерь.

За время развитія электрическихъ желѣзныхъ дорогъ для проводки электричества предлагалось множество самыхъ разнообразныхъ способовъ, изъ которыхъ къ электрическому желѣзнодорожному дѣлу примѣняются до сихъ поръ три различныхъ системы, а именно: система надземныхъ проводовъ для тока, система подземной прокладки ихъ и система безъ проводки тока съ далекихъ разстояній, система аккумуляторныхъ дорогъ.

Система надземной проводки впервые была устроена Сименсомъ и Гальске въ ихъ первой установкѣ, когда выяснилось, что прокладка рельсовъ не вполнѣ цѣлесообразна. Затѣмъ эта система сильно развилась въ Америкѣ, сдѣлавшей крупные шаги впередъ въ дѣлѣ установокъ сѣтей городскихъ трамваевъ, а оттуда снова перешла въ Европу, гдѣ въ настоящее время и примѣняется въ огромномъ большинствѣ случаевъ. По этой системѣ надъ рельсами протягивается особая голая проволока, присоединяющаяся къ одному полюсу динамомашины, другой полюсъ которой находится въ соединеніи съ однимъ изъ рельсовъ. Эта голая проволока все время соприка-

сается со связаннымъ съ вагономъ рычагомъ и проводитъ такимъ образомъ токъ въ вагонъ или, точнѣе говоря, въ находящійся въ вагонной телѣжкѣ электродвигатель. Изъ послѣдняго токъ возвращается по рельсамъ опять въ динамо-машину, и такимъ образомъ цѣпь тока замыкается. Если по пути движется одновременно, какъ это и бываетъ обыкновенно, нѣсколько вагоновъ, то всѣ они, слѣдовательно, включены параллельно, что явствуетъ изъ рис. 104-го. Слѣва стоитъ первичная динамо-машина; идущіе отъ нея провода находятся: одинъ надъ рельсами, а другой въ самихъ рельсахъ. Между ними же включены параллельно всѣ вагонные двигатели.

Такимъ образомъ при этой системѣ на крышѣ каждаго вагона находится рычагъ, представляющій собою обыкновенно стальную трубку, заканчивающуюся катящимся по проводу контактнымъ блокомъ, уводящимъ отъ провода электрическій токъ. Снизу рычага находятся сильныя пружины, все время прижимающія блочный контактъ къ воздушному проводу. Пружины выполняютъ свою роль даже и въ томъ случаѣ, если блокъ про-

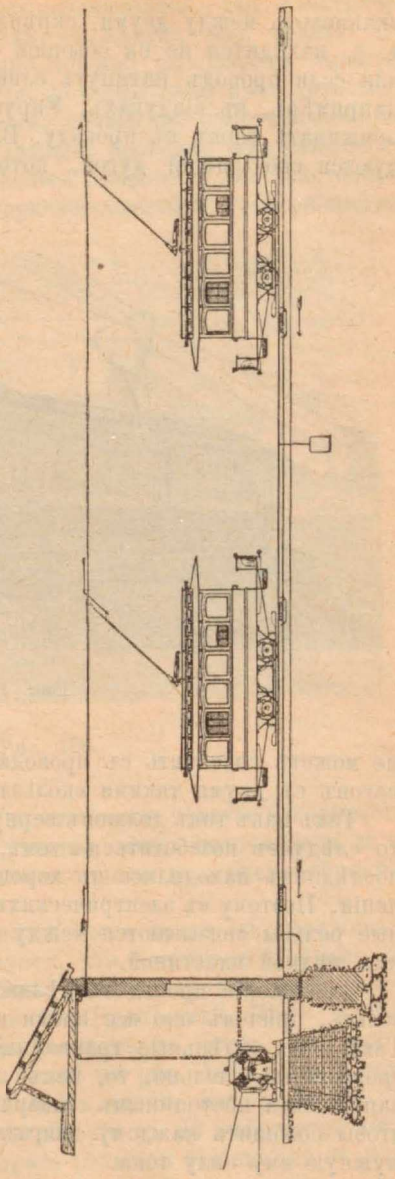


Рис. 104

скакиваетъ между двумя скрѣпленными концами проводовъ, т. е. находится не на обычной своей высотѣ надъ рельсами, или если проводъ натянутъ слишкомъ низко, что случается, напримѣръ, въ віадукахъ. Упругій рычагъ долженъ постоянно прижимать блокъ къ проводу. Вмѣсто катушки часто пользуются скользящей дугой, которая настолько широка, что

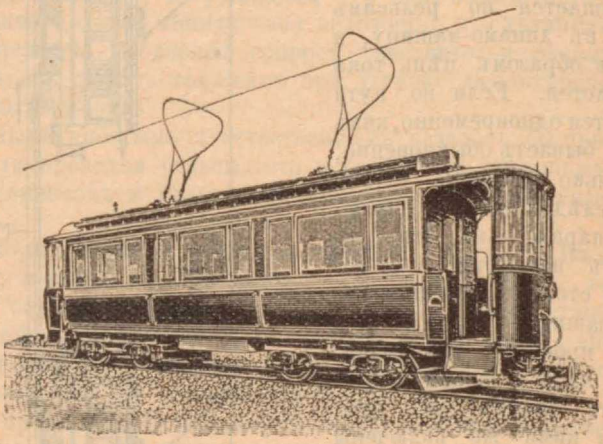


Рис. 105

не можетъ соскочить съ провода. На рис. 105 изображенъ вагонъ съ двумя такими скользящими дугами.

Такъ какъ токъ долженъ вернуться на станцію по рельсамъ, то слѣдуетъ позаботиться о томъ, чтобы отдѣльные куски этихъ послѣднихъ находились въ хорошемъ другъ съ другомъ соединеніи. Поэтому въ электрическихъ трамвайныхъ сѣтяхъ отдѣльные рельсы связываются между собою припаянной къ обоимъ имъ мѣдной пластиной.

Напряженіе проводовъ дѣлаютъ обыкновенно равнымъ 500 вольтъ, причемъ оно все время поддерживается постояннымъ. Такъ какъ отдѣльные трамвайные вагоны включаются въ оба провода параллельно, то, какъ намъ извѣстно, поддержаніе напряженія постояннымъ совершенно достаточно для того, чтобы сообщить каждому двигателю, независимо отъ другого, нужную ему силу тока.

Воздушная проводка, употребляющаяся для электрическихъ трамваевъ, въ томъ видѣ, въ какомъ она только что была описана нами, достаточно хорошо выполняетъ практическія требованія. Но провода, которые надо проводить надъ улицами, и, главнымъ образомъ, множество поперечныхъ проволокъ, поддерживающихъ главные провода, представляютъ собою крайне непріятное зрѣлище. Впрочемъ, въ настоящее время цѣлый рядъ особыхъ приспособленій и усовершенство-

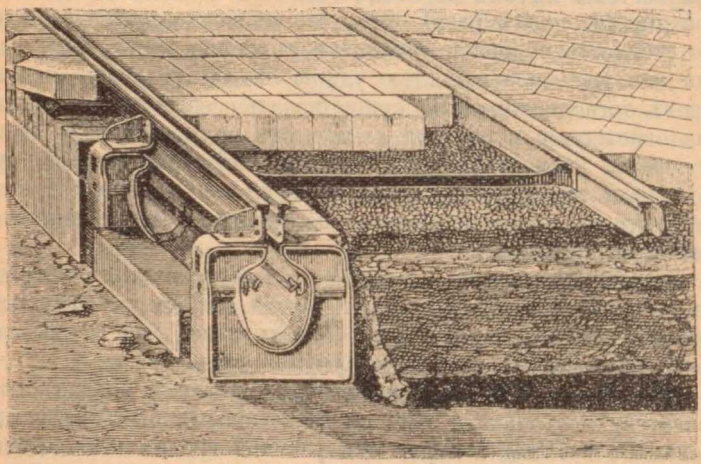


Рис. 106

ваніи достигаетъ того, что эстетическое чувство оскорбляется уже не такъ сильно, какъ раньше, когда волочащіеся за вагономъ плохо натянутые канаты производили впечатлѣніе полнѣйшаго безпорядка.

При подземной проводкѣ тока такое обезображиваніе улицъ совершенно отсутствуетъ, что достигается однако, цѣною значительной дороговизны подобной установки. Таковы установки Сименса и Гальске въ Будапештѣ, Вѣнѣ и Берлинѣ. Въ нихъ подъ однимъ рельсомъ на всемъ его протяженіи находится, какъ это видно на рис. 106, каналъ, верхняя часть котораго и составляетъ одинъ изъ рельсовъ. Въ серединѣ рельса сдѣлано углубленіе въ 33 миллиметра шириною, черезъ посредство котораго рельсъ и сообщается съ нахо-

дящимся подъ нимъ каналомъ. Въ каналѣ натянуты два голыхъ провода изъ углового желѣза, которые, слѣдовательно, лежатъ подъ однимъ изъ рельсовъ. Между ними движется контактный возочекъ, изолированный по срединѣ, касающійся обоихъ проводовъ, отводящій токъ съ одного провода къ электродвигателю и приводящій его отъ этого послѣдняго ко второму проводу. Разность напряженій обоихъ проводовъ составляетъ 300 вольтъ. По внѣшнему виду электрическій трамвай описываемой системы ничѣмъ не отличается отъ вагона конно-желѣзной дороги, кромѣ развѣ того, что въ первомъ нѣтъ лошадей. Но стоимость подобной установки, конечно, выше, такъ какъ для нея подъ поверхностью улицы надо устраивать каналъ. Кромѣ того должны еще существовать особыя приспособленія для огражденія и очистки канала отъ воды, снѣга и грязи. Впрочемъ, несмотря на дороговизну, система подземной проводки для трамвайныхъ линій очень распространена. При нѣкоторыхъ же обстоятельствахъ она можетъ, конечно, оказаться слишкомъ дорогою.

Есть еще третій методъ устройства и обслуживанія электрическихъ трамвайныхъ линій. Мы говоримъ объ аккумуляторныхъ установкахъ. Но о нихъ рѣчь будетъ ниже, когда мы займемся вопросомъ о самихъ аккумуляторахъ.

Для электрическихъ трамваевъ обыкновенно употребляютъ двигатели постояннаго тока съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ. Во избѣжаніе порчи отъ уличной грязи ихъ обыкновенно помѣщаютъ въ закрытый со всѣхъ сторонъ желѣзный кожухъ. Передача движенія съ оси электродвигателя на колеса вагоновъ совершается посредствомъ зубчатыхъ колесъ. Для сообщенія вагону той или иной скорости на немъ устанавливается регуляторъ, позволяющій простымъ поворачиваніемъ ручки включать въ цѣпь тока или выключать изъ нея нѣкоторое сопротивленіе.

Электрическія дороги имѣютъ большія преимущества какъ для городского, такъ и для междугороднаго сообщенія. Впрочемъ, до сихъ поръ, вообще говоря, онѣ, конечно, не могутъ конкурировать съ дорогами, обслуживаемыми паровыми двигателями. Что же касается горныхъ путей, то электрическія дороги, конечно, имѣютъ въ этомъ случаѣ громадныя преимущества передъ всѣми другими, такъ какъ иногда сохраняющаяся работа при спускѣ съ горы можетъ быть затрачена на слѣдующій подъемъ на гору.

Въ общемъ электрическія дороги гораздо удобнѣе для отдѣльнаго пользованія ими, чѣмъ для массоваго: у нихъ каждый отдѣльный вагонъ имѣетъ свой двигатель и представляетъ собою локомотивъ. Даже и на большія разстоянія въ настоящее время устраиваютъ быстро слѣдующіе другъ за другомъ отдѣльные вагоны съ такимъ же ограниченнымъ числомъ пассажировъ, какъ и въ уличныхъ трамваяхъ. Электрическіе трамваи постепенно совершенно вытѣсняютъ паровые. Уже нѣсколько лѣтъ двѣ громадныя берлинскія фирмы «Всеобщая Компанія Электричества» и «Сименсъ и Гальске» заняты устройствомъ электрическаго трамвая, который долженъ развивать скорость до 200 километровъ въ часъ.

Электричество имѣетъ столько неоспоримыхъ преимуществъ передъ паромъ, что и перевозку тяжестей слѣдовало бы производить электрическимъ путемъ, а не при помощи паровыхъ машинъ. Что касается паровой желѣзной дороги, то тамъ къ одному сильному локомотиву прикрѣпляется громадная тяжесть въ видѣ нѣсколькихъ вагоновъ. Было бы очень непрактично снабжать каждый вагонъ своимъ локомотивомъ. Электричество же можно безъ большихъ потерь провести въ цѣлый рядъ маленькихъ машинъ, изъ которыхъ каждая будетъ, конечно, совершать очень небольшую работу. Если при парѣ выгодна централизація, то электричество сильно своимъ принципомъ дѣленія.

Поэтому электричество очень удобно для трамвайныхъ линій, для дорогъ въ рудникахъ и для загородныхъ путей. Въ послѣдніе годы примѣненіе электричества въ этомъ направленіи распространяется все больше и больше.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

Тепловыя и свѣтовыя дѣйствія тока и ихъ примѣненія

Содержаніе: Нагрѣваніе проводниковъ.—Обращеніе работы въ теплоту. законъ Джоуля.—Накаливаніе проволокъ.—Примѣненія: Электрическія лампочки накаливанія, включеніе ихъ.—Лампа Нернста.—Осміева лампа.—Электрическое топливо и нагрѣватели.—Электрическій свѣтъ отъ дуги.—Регулированіе.—Дуговыя лампы и ихъ дѣйствія.

Электрическій токъ протекаетъ продолжительное время только по вполнѣ замкнутой цѣпи проводниковъ. Чтобы токъ могъ вообще протекать, на всемъ его пути должны быть приключены послѣдовательно другъ къ другу проводящія тѣла: металлы, угли, жидкости. Стоитъ только прервать въ одномъ мѣстѣ проводимость,—и протеканіе тока прекращается. Въ такомъ случаѣ на обоихъ концахъ разорваннаго провода находится свободное электричество, которое не можетъ, вообще говоря, протекать черезъ изолирующій слой, будетъ ли послѣдній состоять изъ воздуха, стекла, эбонита или какого другого изолятора.

Если токъ протекаетъ по проводящимъ тѣламъ, то не происходитъ ли въ нихъ какого либо измѣненія? Остаются ли проводники совершенно неизмѣнными? Обнаруживается ли все дѣйствіе тока только въ окружающей проводники средѣ, вызывая въ ней явленія магнитнаго или электродинамическаго характера, или же и по самому проводнику можно судить о томъ, что по нему протекаетъ токъ? На этотъ вопросъ можно отвѣтить, конечно, только экспериментомъ. Но уже и одного размышленія достаточно, чтобы думать, что происходитъ нѣчто и въ самомъ проводникѣ. Пусть у насъ имѣются двѣ совершенно одинаковыя батареи, съ напряженіемъ около ста вольтъ

каждая; замкнемъ одну изъ нихъ цѣпью, въ которой находится электродвигатель, а другую—просто проволокой. Сопротивленіе проволоки въ послѣднемъ случаѣ возьмемъ такимъ, чтобы сила тока въ обоихъ случаяхъ была одинаковой. Мы знаемъ, что находящійся въ первой цѣпи тока электродвигатель приходитъ во вращеніе и можетъ совершать нѣкоторую работу. Съ помощью его мы можемъ, напримѣръ, привести въ дѣйствіе насосъ; тогда въ каждую секунду поднимается нѣкоторое количество воды, а слѣдовательно, и совершается нѣкоторая опредѣленная работа. Итакъ, токъ производитъ нѣкоторый механическій эффектъ, причемъ мы знаемъ, что этотъ послѣдній зависитъ отъ произведенія имѣющихся въ цѣпи вольтъ на амперы. Но куда же дѣвается этотъ эффектъ во второй цѣпи тока? Электродвигателя приводить въ дѣйствіе тамъ не нужно, а напряженіе и сила тока такія же самыя; куда же дѣвается эффектъ, въ чемъ онъ обнаруживается? Вѣдь работа, какъ намъ извѣстно, не можетъ пропасть безслѣдно. Итакъ, мы можемъ уже предположить, что во второмъ случаѣ работа эта переходитъ въ какую либо другую форму энергіи. Это и происходитъ на самомъ дѣлѣ. Энергія электрическаго тока обращается въ теплоту. Въ обоихъ случаяхъ создается теплота, но во второмъ ея больше, какъ разъ настолько больше, сколько работы производится въ первомъ.

Въ каждомъ кускѣ проводника, по которому проходитъ токъ, возбуждается теплота; въ каждую секунду ея создается одно и то же количество, а слѣдовательно, всего теплоты выдѣлится тѣмъ больше, чѣмъ дольше протекаетъ по проводнику токъ.

Пока имѣешь дѣло съ очень слабыми токами, такое нагрѣваніе обнаружить трудно, такъ какъ для этого нужно пользоваться очень тонкими тепломѣрными приспособленіями.

При болѣе же или менѣе сильныхъ токахъ уже прямо наощупь можно убѣдиться, что проводники нагрѣваются, а если имѣть дѣло съ токами въ нѣсколько амперъ, то совсѣмъ нетрудно довести тонкія проволоки до краснаго, желтаго и бѣлаго каленія и, наконецъ, даже и расплавить ихъ.

При очень сильныхъ токахъ можно расплавить цѣлые мѣдные стержни, какъ это и случилось, благодаря неосторожности, въ Нью-Іоркѣ при первой установкѣ электрическихъ центральныхъ станцій.

Чѣмъ тоньше проволока, тѣмъ она сильнѣе нагрѣвается,

тѣмъ легче накаливается и плавится. Очень нетрудно понять это еще болѣе точно, если вспомнить, что электрическій эффектъ обращается, какъ мы разсуждали выше, въ теплоту.

Электрическій эффектъ въ какомъ либо отрѣзкѣ проводника, по которому проходитъ токъ, всегда равенъ силѣ тока, помноженной на разность потенціаловъ на обоихъ концахъ даннаго отрѣзка.

Эта же разность потенціаловъ или, какъ мы называли ее выше, потеря напряженія въ отрѣзкѣ проводника равна силѣ тока, помноженной на сопротивленіе проводника. Отсюда слѣдуетъ, что электрическій эффектъ, а слѣдовательно, и выдѣляющаяся въ каждую секунду въ нѣкоторомъ отрѣзкѣ проводника теплота равна произведенію изъ сопротивленія отрѣзка на квадратъ силы тока. Во всякомъ отрѣзкѣ проводника выдѣляющееся въ каждую секунду количество теплоты равно сопротивленію, помноженному на квадратъ силы тока.

Этотъ законъ выдѣленія теплоты гальваническимъ токомъ впервые былъ найденъ экспериментальнымъ путемъ Джоулемъ. Поэтому онъ называется закономъ Джоуля, а создаваемая токомъ въ проводникахъ теплота носитъ названіе джоулева тепла. Изъ закона Джоуля тотчасъ слѣдуетъ, что при прочихъ равныхъ условіяхъ теплота, выдѣляющаяся въ проволокѣ большаго сопротивленія, то есть въ тонкой, больше, чѣмъ въ толстой.

То свойство гальваническаго тока, въ силу котораго онъ нагрѣваетъ цѣпь, по которой проходитъ, и даже накаливаетъ отдѣльныя ея части, находитъ большое примѣненіе. Имъ пользуются въ медицинѣ, въ которой на немъ основана такъ называемая гальванокаустика; этимъ дѣйствіемъ тока пользуются для зажиганія взрывчатыхъ матеріаловъ, а иногда для отапливанія и варки. Наконецъ это свойство тока получило особенно важное примѣненіе въ томъ, что позволило Эдисону воспользоваться имъ для освѣщенія.

Существенную часть лампочекъ накаливанія, какъ называютъ основанныя на этомъ принципѣ лампы, составляютъ тонкія угольныя нити, согнутыя въ видѣ подковы или петли и заключенныя въ стекляномъ колпачкѣ, какъ это показано на нѣсколькихъ примѣрахъ на рисункѣ 107.

Токъ проходитъ по угольной нити, а такъ какъ послѣдняя

имѣетъ очень большое сопротивленіе (въ нѣсколько сотъ омовъ), то сильно нагрѣваетъ ее и заставляетъ ярко свѣтиться.

Вначалѣ, конечно, пробовали накаливать и заставлять служить для освѣщенія тонкія металлическія проволоки, особенно платиновыя; между тѣмъ металлы очень неудобны, такъ какъ подвергаются плавленію. Если токъ слишкомъ силенъ, то накаленная платиновая проволока совершенно расплавляется, и лампа гаснетъ. Для такихъ лампочекъ накаливанія самымъ

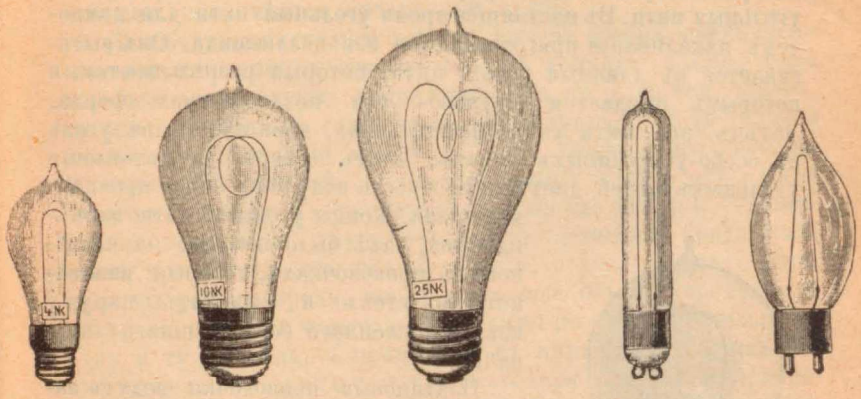


Рис. 107

лучшимъ матеріаломъ оказался поэтому уголь, который, какъ извѣстно, никакъ не можетъ быть расплавленъ.

Поэтому-то Эдисонъ и перешелъ къ нему, перепробовавъ безрезультатно цѣлый рядъ наиболѣе туго плавящихся металловъ.

Но накаленный уголь соединяется съ кислородомъ воздуха и быстро сгораетъ; поэтому, пользуясь для освѣщенія накаленнымъ углемъ, нужно очень тщательно заботиться о томъ, чтобы предохранить его отъ соединенія съ кислородомъ. Уголь нужно помѣстить въ безвоздушномъ пространствѣ, чего и достигаютъ, помѣщая его въ стеклянный колпачокъ, изъ котораго выкаченъ весь воздухъ. Съ этою цѣлью уголекъ надо какъ нибудь вплавить въ стеклянный сосудъ, чего, къ счастью, нетрудно достигнуть, если придѣлать къ концамъ угольной нити платиновыя проволочки. Платина легко и прочно вплавляется въ стекло, потому что ея коэффиціентъ расширенія

почти такой же, какъ и у него. Примѣняя новѣйшіе ртутные насосы, нетрудно изъ стеклянныхъ колпачковъ выкачать почти совершенно воздухъ. Упомянутыя преимущества угля и заставили прежде всего воспользоваться для электрическаго свѣта именно имъ. Но было очень трудно сдѣлать изъ угля такія тонкія нити, какія нужны для накаливанія, и притомъ такъ, чтобы онѣ не были хрупки. Велика заслуга Эдисона, который впервые сдѣлалъ чрезвычайно тонкія и очень прочныя угольныя нити. Въ настоящее время угольныя нити для лампочекъ накаливанія приготовляются изъ целлюлоида. Онъ вытягивается въ длинныя тонкія нити, которыя разрѣзываются, и которымъ придается подково- или петлеобразная форма. Затѣмъ эти нити «карбонизируются», обращаются въ уголь въ особо-устроенныхъ печахъ. Этотъ способъ приготовленія угольныхъ нитей даетъ возможность полученія очень прочнаго матеріала. Концы угольной нити закрѣпляются, какъ было сказано, на платиновыхъ проволочкахъ, которыя впаиваются въ стекло и выходятъ наружу изъ разрѣженнаго безвоздушнаго колпачка.

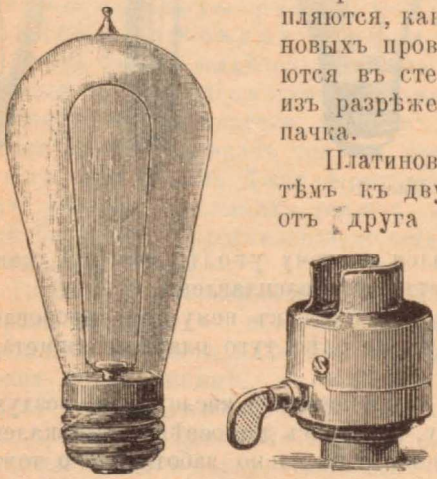


Рис. 108

Платиновыя проволочки ведутъ затѣмъ къ двумъ изолированнымъ другъ отъ друга металлическимъ частямъ лампы, посредствомъ которыхъ послѣдняя вставляется въ свой патронъ. Патронъ такъ же состоитъ изъ двухъ изолированныхъ частей, къ которымъ присоединяются провода внѣшней цѣпи. Лишь только лампа вставлена въ патронъ, тотчасъ же по угольной нити начинаетъ протекать токъ.

Для наиболѣе употребительныхъ патроновъ Эдисона (рис. 108) снизу на лампѣ сдѣлана металлическая винтовая нарѣзка, съ которой соединена одна изъ платиновыхъ проволокъ; другая проволока идетъ къ изолированному кусочку металла, находящемуся на днѣ. Лампа ввинчивается въ свой

патронъ; въ патронѣ сдѣлана соотвѣтственная нарѣзка, къ которой подходитъ одинъ изъ проводовъ, идущій отъ источника тока. На днѣ патрона находится изолированная металлическая пружина, къ которой присоединяется (обыкновенно чрезъ посредство подвижного контакта, особаго кранчика) другой проводъ. При ввинчиваніи лампы въ патронъ находящійся на днѣ ея кусочекъ металла нажимаетъ на пружину и образуетъ такимъ образомъ превосходный контактъ, такъ что для тока имѣется прекрасный путь.

Лампочки накаливанія имѣютъ, вообще говоря, очень большое сопротивленіе, и поэтому на ихъ концахъ должно быть довольно значительное напряженіе; что же касается токовъ, то они относительно слабы: для 100-вольтовой 16-ти-свѣчной лампочки накаливанія требуется токъ силою всего лишь въ $^1/_2$ ампера. Чтобы всѣ лампы накаливанія питать отъ одного и того же источника,—напримѣръ, отъ динамо-машины,—совершенно независимо другъ отъ друга, Эдисонъ предложилъ очень простой способъ ихъ включенія, о достоинствахъ котораго мы уже говорили, когда рѣчь шла объ электродвигателяхъ,—именно онъ включалъ всѣ лампы не послѣдовательно въ одну и ту же цѣпь, а примѣнялъ къ нимъ такъ называемое параллельное включеніе. Благодаря этому онъ приспособилъ электрическое освѣщеніе ко всѣмъ случаямъ практики,

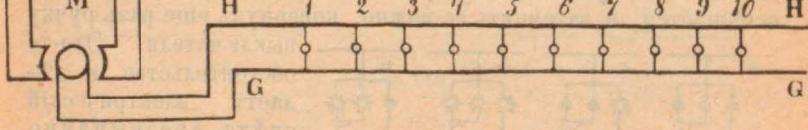


Рис. 109

сдѣлалъ его годнымъ и для освѣщенія въ домахъ и даже въ цѣлыхъ частяхъ города. Эдисонъ включалъ, значитъ, всѣ лампы параллельно, то есть такъ, какъ показано на рис. 109, гдѣ M изображаетъ машину, а цифры 1, 2, 3 и т. д.—лампы. Слѣдовательно, при этомъ отъ источника тока идутъ два провода HH и GG, а между ними включаются параллельно отдѣльныя лампы.

Лампы, которыя могутъ зажигаться и тушиться отдѣльно, снабжаются въ своихъ патронахъ кранчикомъ (какъ на рис.

108), при поворачиваніи котораго производится или уничтожается контактъ. Однако очень удобно можно зажигать или тушить отдѣльныя лампы либо нѣсколько вмѣстѣ (напримѣръ, всѣ лампы люстры), если только включить гдѣ либо въ проводъ ведущій къ лампамъ выключатель. Такіе выключатели, одинъ изъ которыхъ изображенъ въ разобранномъ видѣ на рис. 110, уже были описаны нами на стр. 51. По-

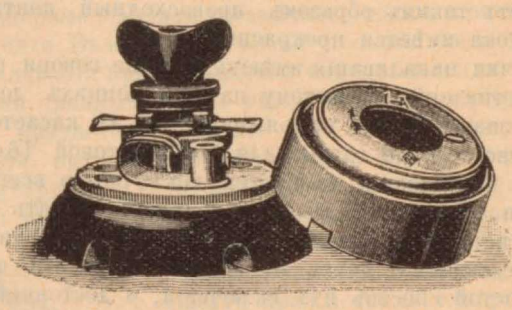


Рис. 110

этому, напримѣръ, ведущая въ комнату проводка, къ обѣимъ проволокамъ которой приключаются всѣ лампы комнаты, подходитъ къ такому выключателю; одна изъ проволокъ перерѣзывается, и ея концы присоединяются къ металлическимъ пружинамъ. Простымъ поворачиваніемъ ручки можно тотчасъ же металлически соединить между собою обѣ отдѣльныя пружины и замкнуть такимъ образомъ токъ. Комната тотчасъ же освѣщается, и затемнить ее можно, повернувъ еще разъ ручку выключателя. Это-то обстоятельство и дѣлаетъ электрическій свѣтъ чрезвычайно удобнымъ, давая ему большія преимущества передъ свѣтомъ газовымъ.

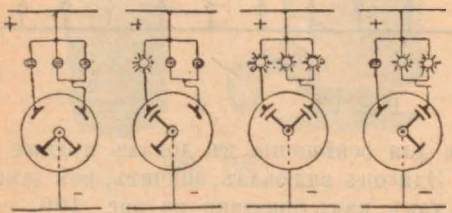


Рис. 111

Выключатель можно устраивать и такъ, чтобы въ немъ было нѣсколько контактовъ, благодаря чему можно, въ зависимости отъ его положенія, зажигать, напримѣръ, четверть лампъ люстры, три четверти, а то и всѣ. На рис. 111 изображено схематически такое приспособленіе.

Между двумя изображенными горизонтальными линіями, главными проводниками, помѣщаются два проводника, включенные параллельно (они изображены вертикальными линіями), изъ которыхъ первый заключаетъ въ себѣ одну лампу, а второй—двѣ. Выключатель, представленный въ видѣ круга съ контактами и ручкой съ двойнымъ рычагомъ, называется переключателемъ. Онъ позволяетъ поворачиваніемъ ручки въ направленіи движенія часовой стрѣлки дѣлать слѣдующія соединенія: при первомъ положеніи все выключено, при второмъ горитъ одна лампа, при третьемъ горятъ всѣ лампы, а при четвертомъ—только двѣ, включенныя въ одинъ проводъ. Подобныя включенія можно, конечно, производить въ любой комбинаціи. Иногда бываетъ желательно зажигать или тушить лампу или люстру не изъ одного только мѣста, а изъ двухъ или даже нѣсколькихъ.

Желательно бываетъ, напримѣръ, имѣть возможность за-

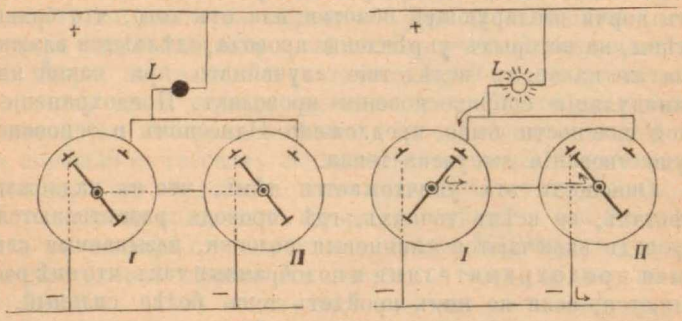


Рис. 112

жечь на лѣстницѣ лампы, войдя въ парадную дверь, и потушить ихъ у своей квартиры. На рис. 112 изображены два служащіе для этой цѣли выключателя I и II. Ихъ центры соединены между собою проволокой, между тѣмъ какъ одинъ контактъ каждаго изъ нихъ соединенъ съ однимъ изъ проводовъ (—), а другой черезъ лампу L съ другимъ (+). На лѣвомъ рисункѣ производящіе контактъ рычажки параллельны, благодаря чему нѣтъ доступа тока къ лампѣ, которая поэтому и не горитъ; на правомъ рисункѣ направленія контактныхъ рычажковъ пересѣкаются, благодаря чему лампа получаетъ токъ и за-

горается. Поэтому, поворачивая еще разъ одинъ изъ контактовъ такъ, чтобы онъ стоялъ, какъ и другой, можно лампу то тушить, то зажигать.

Для всѣхъ электрическихъ установокъ существуетъ очень важное требованіе, состоящее въ томъ, чтобы предохранить аппараты—лампы ли, какъ въ нашемъ случаѣ, или и электродвигатели—отъ разныхъ неожиданныхъ случайностей, могущихъ возникнуть отъ слишкомъ сильныхъ токовъ; еслибы случайно черезъ лампы прошелъ слишкомъ сильный токъ, онѣ быстро перегорѣли бы. Такіе слишкомъ сильные токи могутъ происходить, главнымъ образомъ отъ такъ называемаго коротkаго замыканія. Если почему либо между проводами, въ которые включены лампы или двигатели, пропадаетъ изоляція, то сопротивленіе внѣшняго провода становится гораздо меньшимъ, чѣмъ должно быть, а потому проходящіе по проводкѣ токи становятся слишкомъ сильными и могутъ попортить всѣ включенные въ цѣпь аппараты. Произойти это можетъ или отъ порчи изолирующей обмотки, или отъ того, что балки или стѣны, на которыхъ укрѣплены провода, сдѣлаются влажными, или же наконецъ вслѣдствіе случайнаго при какой нибудь манипуляціи соприкосновенія проволокъ. Предохраненіе отъ этой опасности было предложено Эдисономъ и основано на существованіи джоулева тепла.

Опасность эта уничтожается тѣмъ, что въ надлежащихъ мѣстахъ, во всѣхъ точкахъ, гдѣ провода развѣтвляются, въ проводъ включаются свинцовыя полоски, называемыя свинцовыми предохранителями и подобранныя такъ, что онѣ расплавляются, если по нимъ пройдетъ токъ болѣе сильный, чѣмъ тотъ, на который онѣ разсчитаны. Лишь только на одинъ моментъ токъ получитъ слишкомъ большую силу, которая могла бы быть опасной для лампъ, онъ тотчасъ же расплавляетъ свинецъ и, благодаря этому, размыкается. Тогда всѣ лампы, включенныя послѣдовательно съ этимъ предохранителемъ, тухнутъ, но остаются неповрежденными. Предохранитель же можно замѣнить новымъ.

Такіе свинцовые предохранители включаются какъ въ главные провода, такъ и въ отвѣтвленные, а равно и въ каждое отвѣтвленіе для группы лампъ, напримѣръ, передъ каждой комнатой.

Цѣлесообразной формой свинцоваго предохранителя является та, гдѣ въ гипсовый штепсель (рис. 113), на днѣ ко-

тораго находится металлическая пластинка, а сбоку—металлическая же винтовая нарѣзка, укрѣпляютъ свинцовую пластинку между дномъ и металлической нарѣзкой. Штепсель ввинчивается въ особый патронъ (рис. 114), къ которому

Рис. 113

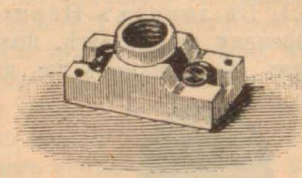


Рис. 114

подходятъ провода, идущіе отъ машины. Штепселя изготовляются на силы тока въ 3, 5, 10, 15, 25 и т. д. амперъ.

Изобрѣтеніе газовыхъ горѣлокъ Ауэра нанесло очень сильный ударъ электрическому освѣщенію лампами накаливанія. Свѣтъ Ауэра не только значительно ярче свѣта лампочекъ накаливанія, но и гораздо дешевле его Многіе владѣльцы установокъ, на которыхъ имѣлись уже электрическія лампы, снова перешли къ газовому освѣщенію, несмотря на довольно значительныя его неудобства, такъ какъ стоитъ только газовую горѣлку снабдить колпачкомъ Ауэра, и освѣщеніе газовое становится въ высшей степени экономичнымъ. Поэтому уже давно въ электротехникѣ поднимался вопросъ о томъ, нельзя ли въ электрическомъ свѣтѣ накаливанія сдѣлать какія либо улучшенія вродѣ тѣхъ, которыя сдѣланы Ауэромъ для газоваго свѣта. Нельзя ли, напр., и при электрическомъ освѣщеніи, вмѣсто накаленнаго угля, употреблять въ видѣ свѣтящагося тѣла калящіяся бѣлымъ каленіемъ соединенія щелочно-земельныхъ металловъ, которыми снабжены колпачки Ауэра? Вещества эти калятся безъ мерцанія и могутъ принимать значительно болѣе высокую температуру, чѣмъ уголь, а потому и излучать интенсивный и экономичный свѣтъ. Но, къ несчастью, вещества эти—какъ, напр., окись магнія въ холодномъ состояніи—не проводятъ электричества; при очень же высокихъ температурахъ, даже уже при красномъ каленіи, они становятся хорошими проводниками электричества, особенно въ томъ случаѣ, если употреблять смѣси различныхъ такихъ

щелочно-земельныхъ соединеній. Но вотъ то обстоятельство, что въ холодномъ состояніи они не проводятъ электричества, и дѣлаетъ затруднительнымъ ихъ непосредственное примѣненіе къ освѣщенію. Отчасти преодолѣлъ это затрудненіе профессоръ Нернстъ вмѣстѣ со Всеобщей Компаніей Электричества (A. E. G.). Въ лампахъ Нернста, имѣющихся уже съ недавняго времени въ продажѣ, пользуются для освѣщенія какъ разъ такимъ стерженькомъ изъ магнезіи, смѣшанной съ другими щелочно-земельными соединеніями. Если такой стерженекъ предварительно нагрѣть до краснаго каленія и затѣмъ пропустить по нему электрическій токъ, то онъ свѣтится яркимъ бѣлымъ свѣтомъ и потребляетъ только около половины тѣхъ ваттъ, которые требуются

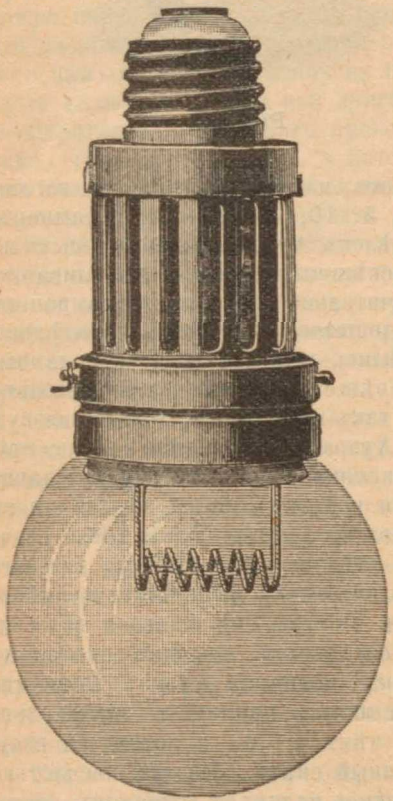


Рис. 115

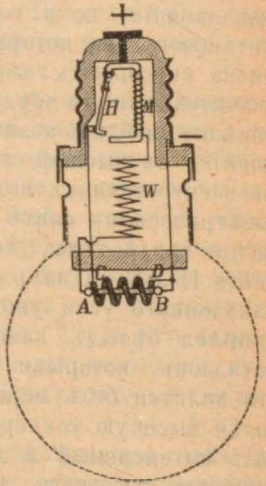


Рис. 116.

для такой же силы свѣта отъ обыкновенной лампы накаливанія. Предварительное нагрѣваніе стерженька происходитъ

такимъ образомъ: онъ обматывается тонкой платиновой проволокой, по которой пропускается токъ, который, нагрѣвая саму проволоку, нагрѣваетъ вмѣстѣ съ тѣмъ и щелочно-земельный стерженекъ. На рис. 115 изображена такая лампа Нернста, а рис. 116 даетъ изображеніе внутренняго ея устройства.

Токъ отъ зажима + идетъ черезъ H къ платиновой проволокѣ CD и затѣмъ къ зажиму —. Платиновая проволока калится, и ея тепловыя излученія черезъ $^1/_4$—$^1/_2$ минуты нагрѣваютъ стерженекъ. Если послѣдній станетъ достаточно теплымъ, то токъ начинаетъ проходить по самому стержню и по послѣдовательно соединенному съ нимъ сопротивленію W. Вмѣстѣ съ тѣмъ магнитъ M притягиваетъ якорь H, благодаря чему токъ, шедшій раньше по платиновой проволокѣ, прерывается.

Ауэръ, знаменитый изобрѣтатель газовой лампы, названной по его имени, пытался построить гораздо болѣе экономичную лампу, чѣмъ обыкновенныя лампы накаливанія.

Послѣднія при данной затратѣ энергіи даютъ относительно немного свѣта, потому что ихъ нельзя доводить до такихъ высокихъ температуръ, какія мы имѣемъ, напр., въ угляхъ дуговыхъ лампъ. При такихъ высокихъ температурахъ тонкія нити очень легко распылялись бы; но чѣмъ выше температура свѣтящагося тѣла, тѣмъ больше, сравнительно съ затрачиваемой энергіей, излучаетъ оно свѣта.

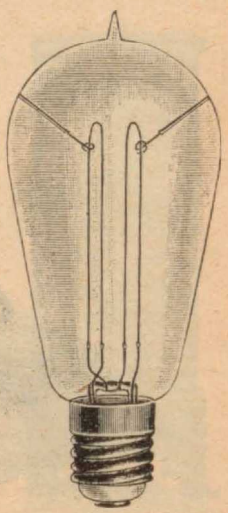


Рис. 117

Поэтому у Ауэра явилась мысль разрѣшить проблему свѣта накаливанія замѣной угля, служащаго нитью лампочекъ, въ высшей степени тугоплавкимъ металломъ осміемъ. Въ этихъ осміевыхъ лампахъ, которыя въ послѣднее время поступили въ продажу, температура, а слѣдовательно, и получаемая при одинаковой затратѣ энергіи сила свѣта калящагося тѣла гораздо выше, чѣмъ у обыкновенныхъ лампъ.

Лампы состоятъ изъ тонкой осміевой нити и потребляютъ только 1,5 ваттъ на свѣчу.

Вслѣдствіе значительной электропроводимости осмія даже

самыя тонкія нити, какія только можно приготовить, представляютъ относительно ничтожное сопротивленіе, и потому до сихъ поръ можно конструировать такія лампы только для 16—44 вольтъ напряженія, что на практикѣ крайне неудобно, такъ какъ установки большинства центральныхъ станцій разсчитаны на 110 вольтъ напряженія.

Въ такихъ случаяхъ нужно поэтому включать всегда послѣдовательно три осміевы лампы. А еслибы эти лампы были болѣе прочны (въ среднемъ онѣ служатъ около 500 часовъ)

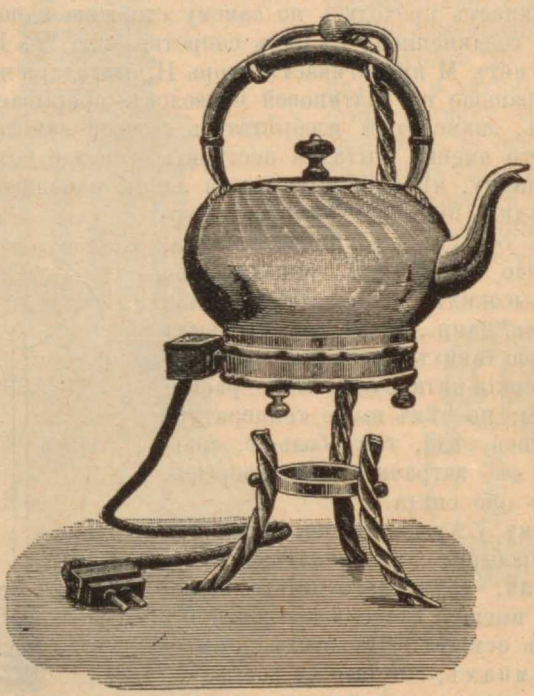


Рис. 118

и не теряли въ свѣтосилѣ, то вышеупомянутый недостатокъ можно было бы игнорировать, принимая въ разсчетъ дешевизну свѣта такой лампы накаливанія.

Въ послѣднее время все болѣе и болѣе широкое примѣ-

неніе начинаетъ находить другая въ высшей степени остроумная утилизація джоулева тепла. Мы говоримъ объ электрическомъ отапливаніи и кипятильникахъ.

Дѣйствительно, пока по проводнику проходитъ токъ, онъ все время развиваетъ нѣкоторую теплоту, которую, конечно, нетрудно перенести на другія тѣла: на металлическія стѣнки сосудовъ, въ которыхъ кипятится вода, и т. п., либо на воздухъ комнаты при отапливаніи. Для этого нужно только привести нагрѣвающіяся проволки въ тѣсное соприкосновеніе съ этими тѣлами. Конечно, при этомъ очень важно, чтобы проволоки, въ которыхъ развивается джоулево тепло, были устроены такъ, чтобы использовать по возможности всю теплоту. Для такихъ электрическихъ кипятильниковъ употребляются самыя разнообразныя приспособленія. Та часть приборовъ, въ которой находятся проводящіе провода и чрезъ которую проходитъ токъ, называется нагрѣвателемъ. Иногда нагрѣватели состоятъ изъ толстыхъ кусочковъ глины, въ желобкахъ и трубочкахъ которыхъ находятся платиновыя проволоки.

Развивающееся въ проволокахъ джоулево тепло сообщается глинѣ, которая, благодаря своей ничтожной теплопроводности, надолго сохраняетъ его въ себѣ. Иногда проволоки изолируются просто цѣлымъ рядомъ мелкихъ стеклянныхъ бусъ, лежащихъ

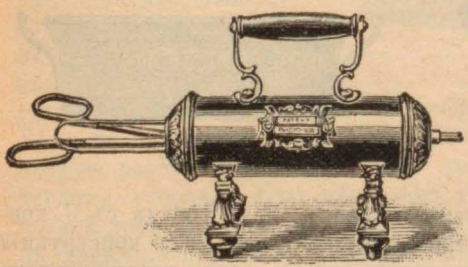


Рис. 119

Рис. 120

въ спиралеобразныхъ желобкахъ, устроенныхъ въ служащихъ нагрѣвателями отдѣльныхъ частяхъ нагрѣвательныхъ аппаратовъ.

Снаружи нагрѣвателя, конечно, не видно,—видны только проволоки, по которымъ къ нему подводится токъ. Такъ, на рис. 118 изображенъ чайникъ, на рис. 119—приборъ, служащій для нагрѣванія щипцовъ для завивки волосъ, на рис. 120—регулируемая электрическая печь. Находящіяся въ аппаратахъ нагрѣвающія проволоки имѣютъ точно измѣренное сопротивленіе, которое таково, что, если эти проволоки включить въ провода съ напряженіемъ въ 100 вольтъ между ними, то онѣ разовьютъ какъ разъ то количество теплоты, которое нужно для данной цѣли.

Въ новѣйшее время общество Prometheus во Франкфуртѣ-на-Майнѣ строитъ электрическіе кипятильники, въ которыхъ нагрѣваніе производится совсѣмъ особеннымъ, весьма цѣлесообразнымъ способомъ.

Въ нихъ нагрѣваются токомъ не проволоки, какъ это было въ только что описанныхъ аппаратахъ. Сосудъ кипятильника снабженъ слоемъ благороднаго металла (серебра), который наложенъ на изолирующую подкладку, эмаль или слюду. Эмаль находится на внѣшней сторонѣ сосуда, такъ что развивающаяся въ металлическихъ полоскахъ теплота почти цѣликомъ остается внутри его. Кипятильникъ снаружи окруженъ покровомъ, чтобы металлическія проволоки не оставались голыми. Рис. 121 изображаетъ такой кипятильникъ съ тремя металлическими полосками, которыя можно соединять, какъ угодно.

Рис. 121

Рис. 122

На рис. 122 изображенъ внѣшній видъ сосуда съ 3 контактами *a*, *b*, *c* для трехъ полосокъ. Въ силу конструкціи этихъ аппаратовъ, могущихъ служить для всевозможныхъ надобностей кухни, ихъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія очень высокъ.

Эти и другіе подобные же аппараты отличаются чрезвычайной простотой и чистотой.

Гдѣ въ квартирѣ имѣется электрическій токъ, будетъ ли

онъ возбуждаться особой динамо-машиной, или получаться съ центральной станціи, тамъ для приведенія въ дѣйствіе электрическихъ печей или кипятильниковъ нужно только приключить эти аппараты къ проводкѣ.

Тѣмъ же обществомъ Prometheus конструируются также съ нѣкотораго времени и особыя электрическіи печи, которыя скорѣе подходятъ къ французской системѣ каминовъ, чѣмъ къ нашимъ обыкновеннымъ кафельнымъ печамъ. Нагрѣвателями въ нихъ служатъ громадныя лампы накаливанія, которыя излучаютъ развиваемую токомъ теплоту. Стоитъ только подойти къ такой печи, какъ тотчасъ же чувствуешь, насколько стало теплѣе.

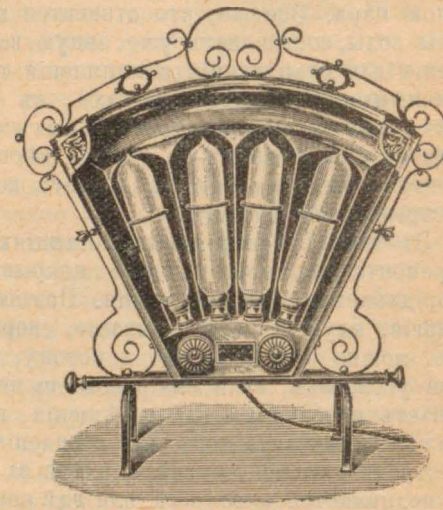


Рис. 123

Интересно знать, насколько экономично подобное примѣненіе электричества. Само собою разумѣется, что это зависитъ отъ платы, которую взимаютъ за электрическую энергію. При нормальныхъ условіяхъ, если электрическіе токи доставляютъ динамо, приводимыя въ движеніе паровыми машинами, электрическая энергія для отопленія, конечно, слишкомъ дорога. Вѣдь въ паровыхъ машинахъ, дѣйствительно, въ механическую работу обращаются едва только восемь процентовъ теплоты сгоранія. Еще нѣсколько меньше величина электрической энергіи, которая получается отъ динамо, приводимыхъ въ движеніе паровыми машинами, и снова обращается въ электрическихъ печахъ въ теплоту. Если то же самое количество угля просто сжигать въ печи, то даже и не при очень ужъ нецѣлесообразномъ устройствѣ этой послѣдней можно было бы использовать для нагрѣванія все же около 60 процентовъ, то есть въ восемь разъ больше, чѣмъ при нагрѣваніи тѣмъ же углемъ, но чрезъ посредство электрическаго тока.

Слѣдовательно, кипяченіе и отапливаніе электричествомъ въ этомъ весьма распространенномъ случаѣ совсѣмъ нераціонально. Но положеніе вещей становится инымъ въ двухъ случаяхъ. Во первыхъ, если динамо приводятся въ дѣйствіе не паровыми машинами и газовыми двигателями, а силою воды. При такомъ условіи нужно, во всякомъ случаѣ, оплатить самую установку водянаго двигателя; что же касается самой силы, то она не требуетъ платы, такъ какъ для нея не нужно постоянно расходовать угля, что необходимо при пользованіи силою пара. Все же, что относится къ использованію самой силы воды, составляетъ уже явную выгоду, и потому употребленіе для отапливанія и кипяченія токомъ становится раціональнымъ. Въ тѣхъ городахъ, въ которыхъ электрическій токъ возбуждается въ центральныхъ станціяхъ, а оттуда проводится уже повсюду,—а такихъ мѣстъ теперь уже немало,—электрическое отапливаніе дѣлаетъ по этимъ причинамъ очень быстрые шаги впередъ.

Въ такихъ центральныхъ станціяхъ стоимость установки и ремонта обыкновенно уже покрывается платой за энергію, даваемую для освѣщенія. Поэтому цѣна электрической энергіи, идущей на отапливаніе, нормируется гораздо ниже. Это можно сдѣлать уже и потому, что гораздо лучше для всей установки, если она работаетъ не только вечеромъ, когда бываетъ необходима для освѣщенія, но также и днемъ, когда должна доставлять токъ для отопленія, а при случаѣ—и для электродвигателей. А гдѣ о платѣ за электрическую энергію не поднимается и вопроса, или гдѣ она не слишкомъ высока,—тамъ электрическія печи и кипятильники примѣняются съ большимъ успѣхомъ, такъ какъ они чрезвычайно удобны и абсолютно чисты. Поэтому-то они и распространяются съ каждымъ днемъ все болѣе и болѣе.

На выдѣленіи джоулева тепла основано блестящее явленіе электрическаго дугового свѣта.

Въ 1821 году англійскій физикъ Дэви замѣтилъ въ высшей степени удивительный и блестящій процессъ, имѣвшій мѣсто при слѣдующихъ обстоятельствахъ. Когда онъ соединилъ полюсы очень сильной батареи съ двумя угольными стержнями и поднесъ ихъ такъ близко другъ къ другу, что они пришли во взаимное соприкосновеніе, то черезъ нихъ пошелъ сильный электрическій токъ. Когда же онъ послѣ этого немного отодвинулъ другъ отъ друга концы обоихъ углей,

вслѣдствіе чего токъ долженъ былъ прерваться, то между углями появился въ высшей степени яркій свѣтъ. Концы углей накалились добѣла, а между ними свѣтилъ голубымъ свѣтомъ и воздухъ; что же касается тока, то онъ отнюдь не прервался, но существовалъ, какъ и раньше, причемъ проводникомъ току служилъ раскаленный воздухъ.

Явленіе это называется электрической дугой, а сопровождающій его свѣтъ носитъ поэтому названіе дугового свѣта. Объясняется это явленіе тѣмъ, что нагрѣтый воздухъ проводитъ электричество довольно хорошо. Если поэтому напряженіе электричества достаточно велико, то электричество можетъ преодолѣть и сопротивленіе нагрѣтаго воздушнаго слоя. Но такое преодолѣніе большого сопротивленія происходитъ, конечно, съ выдѣленіемъ тепла, которое при этомъ настолько сильно, что воздухъ и концы проводниковъ, между которыми онъ находится, накаливаются. Въ свѣтовой дугѣ образуются чрезвычайно высокія температуры, лежащія между тремя и четырьмя тысячами градусовъ. Накаляющіеся концы углей какъ бы переходятъ прямо въ парообразное состояніе; частью же отъ нихъ все время отрываются частицы, которыя, раскаленныя, летятъ черезъ воздушный слой къ противоположному углю. Такова общая картина свѣтовой дуги. Въ сущности говоря, свѣтящимся тѣломъ въ электрическомъ свѣтѣ является не сама дуга, которая, какъ накаленный газъ, испускаетъ только немного свѣта: свѣтящимся тѣломъ являются гораздо болѣе накаленные добѣла концы углей. Отъ нихъ обоихъ отлетаютъ накаленныя угольныя частицы, которыя летятъ не только черезъ воздушный слой къ другому углю, но и отклоняются въ сторону, въ свободное пространство. Но такое распыленіе углей у обоихъ изъ нихъ неодинаково. Отъ положительнаго угля подобныхъ частицъ отлетаетъ несравненно больше, чѣмъ отъ отрицательнаго (причина этого различія еще не объяснена); вслѣдствіе этого, если пользоваться постоянными токами, то положительный уголь очень скоро выдалбливается и образуетъ накаленный добѣла кратеръ; отрицательный же уголь, напротивъ того, во все продолженіе процесса остается почти неизмѣняющимся и даже немного заостряется. На концахъ углей все время можно видѣть множество круглыхъ частичекъ, проскальзывающихъ то тамъ, то сямъ и прилипающихъ, подобно бородавкамъ, въ различныхъ мѣстахъ. Это происходитъ отъ различныхъ примѣсей

угля, которыя плавятся подъ вліяніемъ высокой температуры. Угли для электрическаго свѣта изготовляются особымъ фабричнымъ способомъ; при этомъ ихъ изготовляютъ или просто въ видѣ угольныхъ стержней, сдѣланныхъ изъ прессованной угольной пыли (такъ называемые угли безъ фитилей), или же снабжаютъ угли, такъ сказать, свѣтильней, сдѣланной изъ какого либо легкоплавкаго яркосвѣтящагося вещества (угли съ фитилями). На рисункѣ 124, дающемъ изображеніе дугового свѣта, верхній, положительный уголь— съ фитилемъ, нижній же, отрицательный,— безъ фитиля.

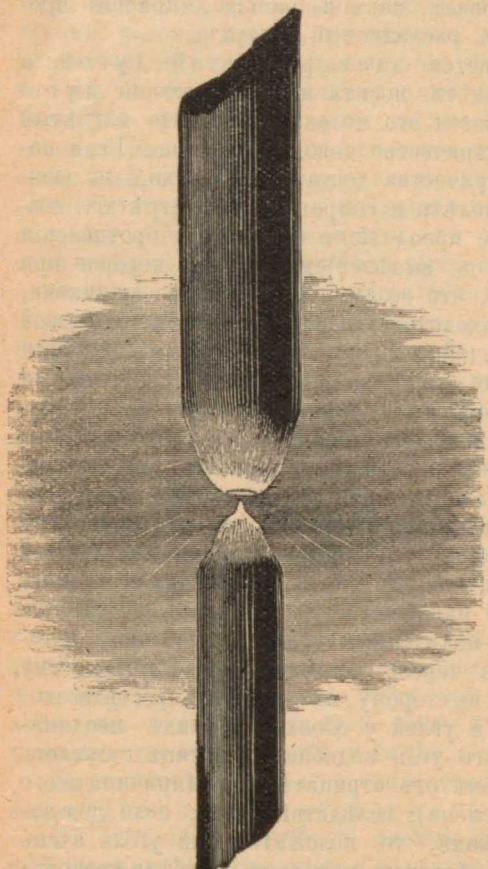


Рис. 124

Накаляясь добѣла, угли мало по малу сгораютъ отъ притока кислорода воздуха, причемъ при постоянныхъ токахъ, какъ уже упомянуто, въ положительномъ углѣ сгораніе происходитъ быстрѣе, чѣмъ въ отрицательномъ. Поэтому въ электрическихъ лампахъ, питаемыхъ постояннымъ токомъ, положительный (верхній) уголь берется обыкновенно вдвое толще нижняго, какъ это и показано на рисункѣ 124, дабы оба угля могли горѣть одинаково долгое время. Нетрудно понять, что электрическій свѣтъ можетъ образоваться также и подъ вліяніемъ быстро мѣняющихъ свое направленіе пере-

мѣнныхъ токовъ. Вѣдь здѣсь играетъ роль электрическая энергія, которая обращается въ теплоту, а энергія эта существуетъ также точно въ перемѣнномъ токѣ, какъ и въ постоянномъ. Если пользоваться перемѣнными токами, то оба угля сгораютъ, конечно, одинаково быстро, потому что каждый изъ нихъ играетъ попеременно роль то положительнаго, то отрицательнаго полюса.

Чтобы произвести дуговой свѣтъ, нужно пользоваться источникомъ тока, который создаетъ на концахъ обоихъ углей напряженіе въ 40—50 вольтъ; при токахъ же перемѣнныхъ необходимое напряженіе можетъ быть только въ 28—30 вольтъ.

Яркость электрическаго свѣта зависитъ, конечно, отъ силы тока, который проходитъ черезъ угли, и ее можно мѣнять въ очень широкихъ предѣлахъ—отъ нѣсколькихъ сотъ свѣчей до многихъ десятковъ тысячъ, для чего надо только измѣнять силу тока, употребляя толстые или тонкіе угли и подбирая также соотвѣтственнымъ образомъ проволочные провода, подводящіе къ нимъ токъ. Если оба угля приведены въ соприкосновеніе другъ съ другомъ, то токъ проходитъ непосредственно между ними, и сопротивленіе уже недостаточно велико, чтобы вызвать значительное нагрѣваніе: концы углей не раскаляются добѣла, и никакого электрическаго свѣта въ такомъ случаѣ не образуется. Поэтому для образованія электрической дуги нужно послѣ соприкосновенія углей немного раздвинуть ихъ, а если вначалѣ угли и были раздвинуты на такое разстояніе, чтобы возникшая между ними свѣтовая дуга имѣла надлежащую удобную длину, все же, еслибы угли были закрѣплены неподвижно, это разстояніе во все время горѣнія увеличивалось бы само собою, такъ какъ угли по мѣрѣ горѣнія дѣлались бы короче, и скоро наступилъ бы моментъ, когда токъ не былъ бы въ состояніи преодолѣть сопротивленія воздушнаго слоя,—въ такомъ случаѣ токъ, а вмѣстѣ съ нимъ и электрическій свѣтъ прекратились бы. Поэтому, когда захотѣли пользоваться электрическимъ свѣтомъ для практическихъ цѣлей, то первымъ требованіемъ было—сдѣлать угли подвижными, придумать какую либо регулировку, которая могла бы поддерживать угли все время въ одномъ и томъ же разстояніи. Регулировка эта должна была удовлетворять цѣлому ряду условій. Во первыхъ, она должна все время сближать концы углей, которые по мѣрѣ сгоранія сами собою расходятся на все большее и большее разстояніе, и такимъ

образомъ постоянно поддерживать одну и ту же силу свѣта. Во вторыхъ, угли должны быть вначалѣ сдвинуты, чтобы по нимъ могъ пройти токъ, а затѣмъ тотчасъ же раздвинуться, чтобы могла образоваться свѣтовая дуга; регулировка должна удовлетворять и этому требованію. Въ третьихъ, она должна выравнивать нѣкоторыя колебанія въ силѣ тока, то есть увеличивать разстояніе между углями, если токъ слишкомъ силенъ, и уменьшать его, если онъ слишкомъ слабъ. Поэтому уже съ самаго начала примѣненія электрическаго свѣта для лекціонныхъ цѣлей стали конструироваться подобные регуляторы, называемые кратко электрическими лампами.

Само собою разумѣется, что такая чувствительная регулировка, которая могла бы слѣдить за каждымъ колебаніемъ тока, невозможна безъ того, чтобы для этой регулировки употреблялся тотъ же самый токъ. Нужно, чтобы токъ, становясь слабѣе, самъ собою сближалъ оба угля; нужно, чтобы, если токъ становится сильнѣе, угли сами по себѣ раздвигались; другими словами, нужно, чтобы концы углей все время были въ одинаковомъ другъ отъ друга разстояніи. Механически легко-разрѣшимой задачей является то, чтобы угли по мѣрѣ сгоранія сближались,—для этого нужно только нижній уголь сдѣлать неподвижнымъ, а верхній—медленно движущимся. Этотъ послѣдній можетъ все время опускаться подъ вліяніемъ своей собственной тяжести. Въ такомъ случаѣ весь вопросъ о регулировкѣ сводится лишь къ устраненію возможности слишкомъ сильнаго опусканія верхняго угля и къ заботѣ о томъ, чтобы онъ все время находился въ надлежащемъ разстояніи отъ нижняго угля.

Простѣйшимъ средствомъ для регулировки свѣтовой дуги явилось примѣненіе электромагнитизма. Если токъ, который долженъ производить свѣтъ, или заставить проходить вокругъ сердечника изъ мягкаго желѣза, поставивъ противъ него подвижной якорь, или же пропустить по соленоиду, въ который можетъ втягиваться желѣзный стержень, то тѣмъ самымъ можно получить нѣкоторый механизмъ, который, въ зависимости отъ силы тока, станетъ вызывать сильныя или слабыя движенія. Движенія эти можно тогда передать одному изъ угледержателей обычными механическими средствами, зубчатыми колесами, кремальерами или какъ нибудь иначе. Если разстояніе между углями слишкомъ мало, а сила тока, слѣдовательно,

слишкомъ велика, то посредствомъ такого механизма можно достигнуть, что угли будутъ раздвигаться до тѣхъ поръ, пока сопротивленіе, а потому и сила тока, не станутъ опять нормальными.

Но при употребленіи такой электрической регулировки можно точно также, какъ и при включеніи динамо-машинъ, пользоваться различными видоизмѣненіями. Прежде всего можно, напримѣръ, регуляторъ, представляющій собою либо электромагнитъ съ якоремъ, либо соленоидъ съ желѣзнымъ сердечникомъ и обозначенный на прилагаемыхъ рисункахъ R, включать непосредственно въ главную цѣпь тока, какъ это показано на рис. 125. Отъ машины M токъ идетъ въ регуляторъ R и, проходя черезъ *KK*, возвращается обратно въ машину. Угли и регулировочный аппаратъ включены послѣдовательно. Всякое измѣненіе въ сопротивленіи, какъ и всякое иное колебаніе величины тока, приводитъ регуляторъ въ плавныя движенія.

Но можно также токъ, идущій въ лампу, раздѣлить, помѣстивъ регулировочный аппаратъ не въ главной цѣпи тока, а въ отвѣтвленіи, параллельномъ углямъ.

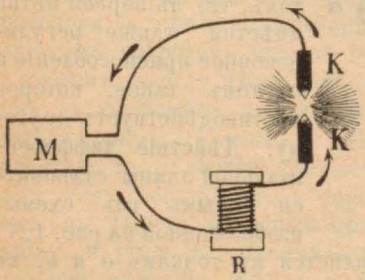


Рис. 125

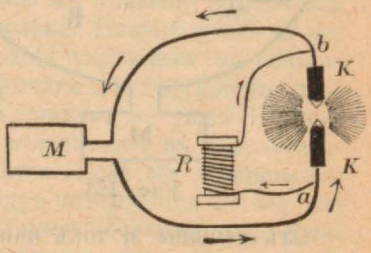


Рис. 126

Схема подобной лампы изображена на рис. 126. И здѣсь опять таки токъ идетъ изъ машины R къ точкамъ *a* и *b*; въ этихъ же послѣднихъ онъ раздѣляется и идетъ съ одной стороны черезъ угли *KK*, а съ другой—черезъ регулировочное приспособленіе R.

Лампы перваго рода удобны только для того случая, если онѣ горятъ отдѣльно, если, другими словами, источникъ тока (динамо-машина) питаетъ только одну лампу; что же касается

лампъ второго рода, то ихъ преимущественно употребляютъ тамъ, гдѣ включается параллельно цѣлый рядъ дуговыхъ лампъ, гдѣ, слѣдовательно, отъ динамо-машины идутъ два провода, между которыми дуговыя лампы вставляются всѣ параллельно, какъ лампочки накаливанія.

Если, напротивъ того, желательно включить много лампъ послѣдовательно, такъ, чтобы токъ, проходя черезъ всѣ лампы, шелъ отъ первой изъ нихъ ко второй и т. д., тогда не годится ни одно изъ двухъ упомянутыхъ включеній, потому что регулировки отдѣльныхъ лампъ мѣшаютъ другъ другу. Въ такихъ случаяхъ употребляются лампы съ особымъ способомъ включенія и регулированія, изобрѣтенныя Гефнеромъ-Альтенекомъ и называемыя дифференціальными лампами.

И въ дифференціальной лампѣ идущій въ нее отъ машины токъ развѣтвляется. Въ одной вѣтви находятся угли, въ другой—регулировочныя приспособленія. Существенное въ ней измѣненіе заключается въ томъ, что въ первой вѣтви имѣется также регулировочное приспособленіе и притомъ такое, которое противодѣйствуетъ другому. Дѣйствіе дифференціальной лампы становится яснымъ изъ схемы, изображенной на рис. 127.

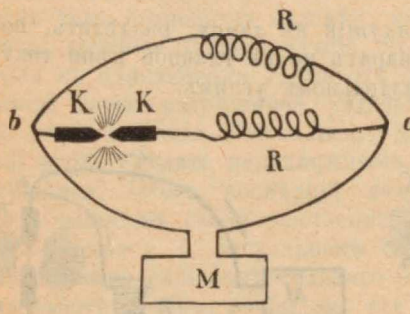


Рис. 127

Отъ машины M токъ направляется къ точкамъ a и b, въ которыхъ и развѣтвляется. Онъ проходитъ одновременно по вѣтви aR_1b съ регулировочнымъ приспособленіемъ R_1 и по вѣтви $aRKKb$ съ приспособленіемъ R и черезъ угли KK. Регулировочныя приспособленія устроены такимъ образомъ, что усиленіе тока въ R_1 сближаетъ угли, а усиленіе тока въ R, напротивъ того, раздвигаетъ ихъ. Если, слѣдовательно, свѣтовая дуга слишкомъ увеличится, и ея сопротивленіе сдѣлается поэтому очень большимъ, то въ R_1 сила тока станетъ больше, что повлечетъ за собою сближеніе углей. Если же, напротивъ того, свѣтовая дуга станетъ слишкомъ короткой, то сила тока въ R увеличится, отчего угли разойдутся, такъ что дуга

снова приметъ нормальную длину. Какимъ образомъ можно въ дифференціальной лампѣ устроить оба эти приспособленія,— понять это совсѣмъ нетрудно изъ рис. 128. Регулировочное приспособленіе состоитъ изъ двухъ проволочныхъ катушекъ—

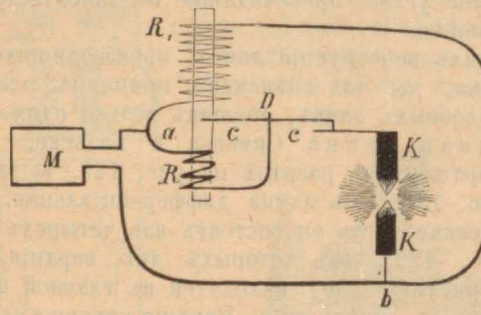


Рис. 128

изъ R и R_1, въ которыхъ находится одинъ желѣзный цилиндръ. Верхняя катушка R_1, помѣщающаяся въ отвѣтвленіи къ углямъ, состоитъ изъ большого числа оборотовъ тонкой проволоки, а нижняя, находящаяся въ главной цѣпи,—изъ немногихъ оборотовъ толстой проволоки. Нижній уголь *K* неподвиженъ, между тѣмъ какъ верхній укрѣпленъ на связанномъ съ желѣзнымъ цилиндромъ рычагѣ *cc*, могущемъ вращаться вокругъ точки *D*. Если токъ въ катушкѣ R_1 усиливается, то желѣзный стержень втягивается въ нее, благодаря чему верхній уголь опускается. Если же усиливается токъ въ R, то желѣзный цилиндръ втягивается въ эту катушку, и уголь K поднимается. Такимъ образомъ дифференціальное дѣйствіе обѣихъ катушекъ устроено очень просто. Въ настоящее время большинство лампъ дѣлаются дифференціальными.

Кромѣ электрическаго регулятора, во всѣхъ лампахъ всегда бываетъ нуженъ и регуляторъ чисто механическій, который, конечно, въ различныхъ системахъ имѣетъ самыя разнообразныя видоизмѣненія. Въ механическомъ регуляторѣ рѣчь всегда идетъ о томъ, чтобы движенія якоря или желѣзнаго сердечника передать углямъ, и передать притомъ такимъ образомъ, чтобы движеніе углей происходило возможно равномѣрнѣе и спокойнѣе. Нужно, чтобы это движеніе непре-

мѣнно слѣдило и за колебаніями тока. Для этого движенія якоря или желѣзнаго сердечника, вызываемыя электрическимъ регуляторомъ, дѣйствуютъ замедляющимъ или ускоряющимъ образомъ на систему зубчатыхъ колесъ, а это послѣднее вызываетъ движеніе углей, происходящее въ такомъ случаѣ очень плавно и покойно.

Изъ многихъ конструкцій лампъ, производящихся различными фирмами, мы для объясненія принципа, лежащаго въ основаніи подобныхъ лампъ, опишемъ только одну изъ нихъ.

Ленточная лампа Сименса и Гальске, механизмъ которой изображенъ въ разрѣзѣ на рис. 129, а въ перспективѣ—на рис. 130, есть лампа дифференціальная.

Электрическая часть ея состоитъ изъ четырехъ катушекъ (АА на рис. 129), изъ которыхъ двѣ верхнія, какъ это видно изъ рисунка 130, находятся въ главной цѣпи тока, а двѣ нижнія—въ отвѣтвленіи. Верхнія катушки сдѣланы изъ толстой проволоки, нижнія же—изъ тонкой. Четыре конца желѣза В, имѣющаго форму римской буквы Н, входятъ въ четыре отверстія катушки. Желѣзо это расположено на вилкѣ *D*, которая либо останавливаетъ механизмъ, приводящі йвъ движеніе аппаратъ, либо отпускаетъ его. На кругъ Е, находящійся въ соединеніи съ системой зубчатыхъ колесъ, надѣтъ канатикъ F, на концахъ котораго находятся оба угледержателя. Благодаря тому, что верхній угледержатель вѣситъ больше, весь механизмъ приходитъ въ движеніе, пока наконецъ угли не сойдутся. Въ этотъ моментъ черезъ верхнія катушки, включенныя въ главную цѣпь, проходитъ сильный токъ; эти катушки втягиваютъ въ себя желѣзо В, благодаря чему разобщаются угли, которые посредствомъ дифференціальной регулировки приводятся въ медленное движеніе съ обѣихъ сторонъ.

Дуговыя лампы снабжаются обыкновенно фонаремъ въ верхней части котораго находится регулировочное приспособленіе, а въ колпакѣ расположены угли. Въ большинствѣ случаевъ нѣсколько дуговыхъ лампъ включаются параллельно; это дѣлается обыкновенно тогда, если освѣщеніе производится и дугами, и лампочками накаливанія.

Если въ главныхъ проводахъ имѣется напряженіе въ 110 вольтъ, что и бываетъ обыкновенно въ большихъ освѣтительныхъ городскихъ установкахъ, тогда соединяютъ по двѣ дуговыхъ лампы послѣдовательно, а уже такія группы изъ двухъ дугъ соединяются параллельно. Напряженіе, кото-

рое должно быть на концахъ каждой лампы, нѣсколько мѣняется въ зависимости отъ силы тока, питающаго эту лампу. Слѣдующая таблица даетъ соотвѣтственныя значенія силъ токовъ (въ амперахъ) и напряженій (въ вольтахъ) у зажимовъ лампъ, питаемыхъ постоянными токами.

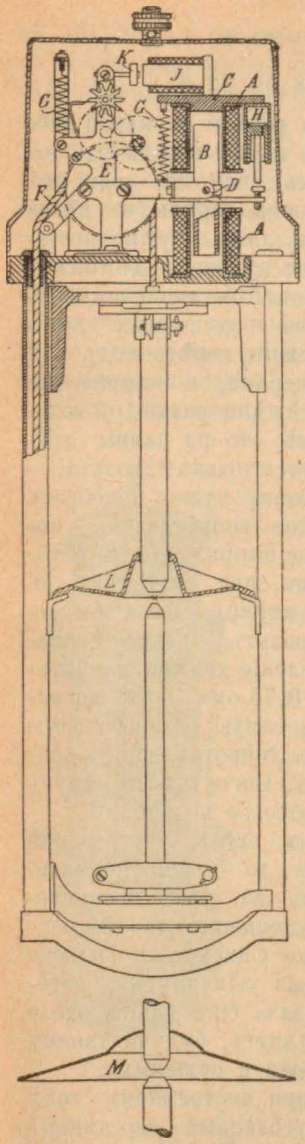


Рис. 129

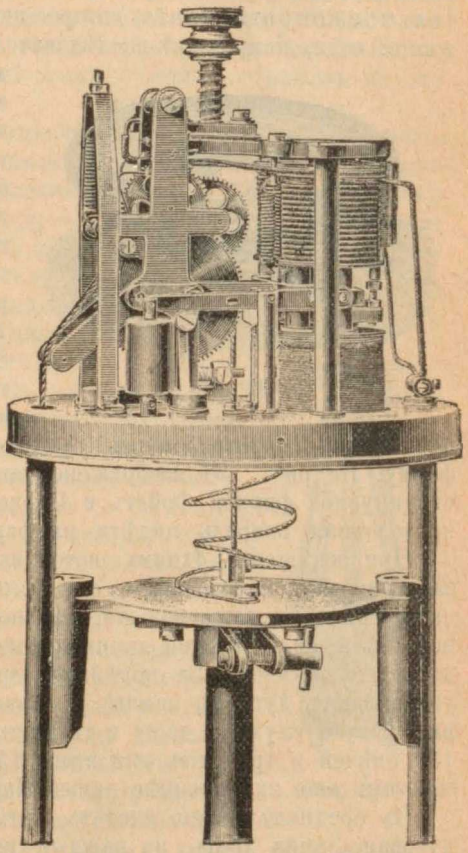


Рис. 130

Сила тока —	3	6	9	12	15	20	30	40	а.
Напряженіе у зажимовъ —	41	43,5	44,8	46	47	48	50	52	в.

Поэтому, если дуговая лампа должна горѣть въ какой либо вѣтви, имѣющей разность потенціаловъ въ 65 вольтъ (что бываетъ при нѣкоторыхъ ихъ установкахъ), или же если двѣ соединенныя послѣдовательно дуги должны горѣть въ вѣтви въ 110 вольтъ напряженія, то въ цѣпь лампы нужно поставить послѣдовательно съ послѣдней еще нѣкоторое дополнительное сопротивленіе, которое поглотило бы лишнее напряженіе: если, напр., двѣ послѣдовательно соединенныя лампы должны горѣть подъ 12 амперами, а напряженіе всей цѣпи равно 100 вольтамъ, то на лампы требуется только 92 вольта,— поэтому нужно подобрать такое сопротивленіе, потеря напряженія въ которомъ, при силѣ тока въ 12 амперъ, была бы въ 8 вольтъ. Такое сопротивленіе должно равняться 0,75 ома. Этимъ дополнительнымъ сопротивленіямъ придаютъ самую разнообразную форму. На рис. 131 изображено такое сопротивленіе, конструируемое фирмой Фойгтъ и Гефнеръ. Согнутая въ кругъ проволочная спираль надѣта на фарфоровое кольцо.

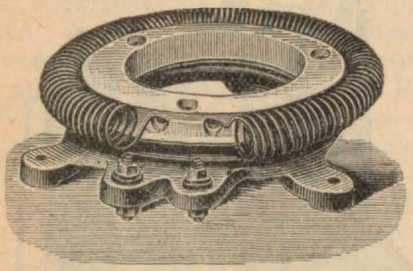


Рис. 131

При освѣщеніи однимъ источникомъ свѣта употребляли электрическій свѣтъ силою отъ 50.000 до 70.000 нормальныхъ свѣчей и даже больше; дѣленіемъ же свѣта интенсивность каждой отдѣльной лампы можно уменьшить до 150 нормальныхъ свѣчей. Въ новѣйшее время Сименсъ и Гальске устраиваютъ дуговыя лампы, называемыя «Лилипутъ», которыя могутъ служить даже и въ комнатахъ. Онѣ даютъ около 130 свѣчей и требуютъ для этого 150 ваттъ, будучи такимъ образомъ еще экономичнѣе лампъ Нернста и осміевыхъ.

Въ среднемъ можно считать, что при постоянномъ токѣ дуговая лампа даетъ на каждый потребляемый ею амперъ около 100 нормальныхъ свѣчей силы свѣта. Такъ какъ такая лампа требуетъ, чтобы у ея зажимовъ было напряженіе вольтъ

въ 40—50, то отсюда слѣдуетъ, что въ лампѣ на каждые 45 ваттъ получается сила свѣта приблизительно въ 100 свѣчей. Принимая въ соображеніе потерю въ проводахъ, можно, слѣдовательно на одну лошадиную силу (736 ваттъ), получать свѣтъ, интенсивность котораго будетъ въ круглыхъ числахъ равняться приблизительно 1.200 нормальныхъ свѣчей. Само собою разумѣется, что только для особыхъ цѣлей нужны бываютъ очень сильные отдѣльные источники свѣта. Уже съ давнихъ поръ они употребляются главнымъ образомъ на маякахъ; большинство большихъ кораблей снабжается сильнымъ электрическимъ дуговымъ свѣтомъ и особыми приспособленіями, посредствомъ которыхъ свѣтъ этотъ можно отражать по любому направленію.

Для обычныхъ же потребностей—для освѣщенія улицъ, площадей, большихъ помѣщеній, вродѣ вокзаловъ, большихъ фабрикъ, садовъ и т. д.—требуется распредѣленіе свѣта по многимъ мѣстамъ, что и выполняется, какъ это уже и было сказано, посредствомъ параллельнаго включенія лампъ.

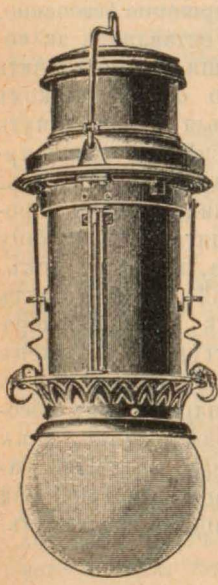


Рис. 133

Въ послѣдніе годы освѣщеніе дуговыми лампами сдѣлало громадный шагъ впередъ благодаря введенію такъ называемаго «бремеровскаго свѣта». Для послѣдняго употребляются особые угли, дающіе при помощи смѣси кальціевыхъ и стронціевыхъ солей желтый, красный или молочно-бѣлый свѣтъ. Эти угли можно ставить вертикально другъ противъ друга, какъ у обыкновенныхъ дуговыхъ лампъ; если же надо бросить пучокъ особенно сильнаго свѣта внизъ, какъ, напримѣръ, при освѣщеніи витринъ и т. п., то рекомендуется, какъ это впер-

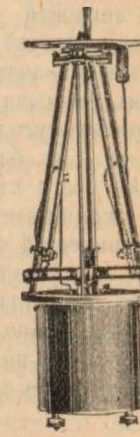


Рис. 132

вые сдѣлалъ Бремеръ, располагать угли такимъ образомъ, чтобы они были направлены внизъ въ косомъ направленіи, и чтобы дуга образовалась въ нижнихъ частяхъ ихъ. Поперечный разрѣзъ такой лампы Сименса и Гальске изображенъ на рис. 132. Фонарь для такой дуги дѣлается очень небольшимъ; онъ изображенъ на рис. 133. Сила свѣта такихъ дуговыхъ лампъ при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ достигаетъ величины, въ три раза большей интенсивности обыкновенной дуги. Это—такое же простое улучшеніе дугового свѣта, какъ то, которое сдѣлалъ въ газовомъ освѣщеніи Ауэръ, надѣвшій на горѣлки свои колпачки.

Нужно еще вкратцѣ упомянуть о тѣхъ громадныхъ преимуществахъ, которыя имѣетъ въ настоящее время электрическій свѣтъ передъ газовымъ освѣщеніемъ. Прежде всего слѣдуетъ указать на безопасность электрическаго освѣщенія; хотя и нельзя сказать, чтобы оно было совершенно безопасно, но все же въ этомъ отношеніи оно далеко оставляетъ за собой освѣщеніе газовое. Лампочки накаливанія можно ставить даже въ мѣстахъ, гдѣ газовое пламя было бы источникомъ большихъ и основательныхъ опасеній. Нельзя не упомянуть и о легкости достиженія электрическимъ свѣтомъ такой яркости, которой нельзя получить никакимъ другимъ образомъ. Нельзя умолчать и объ удобствѣ, съ какимъ можно простымъ размыканіемъ тока моментально потушить всякую лампу съ какого угодно мѣста и вновь зажечь ее, замкнувъ токъ. Въ смыслѣ блеска и бѣлизны электрическій дуговой свѣтъ ближе всего къ дневному, а при посредствѣ углей Бремера онъ окрашивается и пріобрѣтаетъ мягкіе оттѣнки. Наконецъ электрическій свѣтъ имѣетъ еще громадное преимущество въ тѣхъ помѣщеніяхъ, гдѣ находится много народу: онъ абсолютно не портитъ воздуха, тогда какъ газовый свѣтъ, какъ извѣстно, наполняетъ окружающую атмосферу вредными газами. Для полученія блестящаго освѣщенія электрическій дуговой свѣтъ служитъ безусловно самымъ лучшимъ средствомъ.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

Химическія дѣйствія электрическаго тока и ихъ примѣненія

Содержаніе: Электролизъ.—Вторичные процессы.—Законы Фарадея.—Вольтаметръ.—Теорія Клаузіуса-Арреніуса.—Прохожденіе тока въ электролитахъ.—Электролизъ въ гальваническихъ элементахъ.—Поляризація.—Вторичные элементы.—Примѣненія: Аккумуляторы и ихъ употребленіе.—Гальванопластика.—Электрохимія.—Добываніе чистой мѣди.

Электричество находится со всѣми силами природы въ гораздо болѣе разносторонней связи, чѣмъ какія либо другія изъ нихъ. Съ тою же легкостью, съ какою электрическій токъ производитъ свѣтъ и теплоту и создаетъ магнитныя и механическія силы,—съ тою же, говоримъ мы, легкостью вызываетъ онъ и химическія дѣйствія, которыя имѣютъ очень важное значеніе какъ для научнаго изслѣдованія электричества, такъ и для практическаго его примѣненія.

Проводники электрическаго тока бываютъ, какъ намъ извѣстно, двухъ родовъ: проводники перваго класса и проводники второго класса. Къ первому классу принадлежатъ всѣ металлы, а также уголь и селенъ; къ проводникамъ второго класса относятся всѣ сложныя жидкости, которыя вообще проводятъ токъ. Эти два класса проводниковъ существенно отличаются другъ отъ друга. Въ металлахъ, проводникахъ перваго класса, токъ создаетъ только теплоту; если же онъ протекаетъ черезъ проводникъ второго класса, черезъ сложную проводящую жидкость, то всегда производитъ химическое разложеніе этой жидкости, химическое разложеніе, происходящее по вполнѣ опредѣленнымъ законамъ. Проводники второго класса поэтому и называются обыкновенно электролитами (отъ гре-

ческаго слова λύειν—разрѣшать, разлагать). Процессъ разложенія называется электролизомъ. Если электрическій токъ отъ какого нибудь источника (батареи или динамо-машины) надо пропустить черезъ жидкость, то въ эту жидкость погружаютъ двѣ металлическія пластинки или проволоки, изъ которыхъ одна присоединяется къ положительному, а другая—къ отрицательному полюсамъ электрическаго тока. Эти пластинки называются электродами (отъ ὁδός—путь). Чтобы отличить ихъ другъ отъ друга, электродъ, соединенный съ отрицательнымъ полюсомъ (цинкомъ батареи), называется катодомъ, а идущій къ положительному полюсу—анодомъ (отъ κατά—прочь и ἀγά—къ, т. е. «выводящій путь» и «вводящій путь»).

Если погрузить два электрода изъ одинаковаго металла—напр., два платиновыхъ электрода—въ проводящую жидкость, хотя бы въ разбавленную сѣрную кислоту, и пропустить черезъ нихъ электрическій токъ, то жидкость все время разлагается на свои составныя части, все время идетъ разложеніе жидкости. Но это разложеніе происходитъ какъ будто бы не во всей жидкости, а только на самихъ электродахъ.

Въ жидкости между электродами совершенно ничего не видно; что же касается самихъ электродовъ, то можно замѣтить, что по нимъ поднимаются пузырьки газа. Если изслѣдовать эти газы ближе, то окажется, что на катодѣ выдѣляется водородъ, а на анодѣ—кислородъ.

Проводящими жидкостями являются вообще водяные растворы кислотъ, вродѣ сѣрной, соляной, азотной, и растворы въ водѣ солей. Эти-то растворы солей и кислотъ особенно важны для электролиза, и потому о нихъ главнымъ образомъ и будетъ идти у насъ рѣчь. Всякая соль—напр., сѣрнокислая мѣдь (мѣдный купоросъ)—содержитъ въ себѣ въ видѣ одной составной части металлъ, въ данномъ случаѣ мѣдь; второю составною частью является кислота, кислородъ, хлоръ или какое либо другое вещество, въ нашемъ случаѣ сѣрная кислота. Если электролизовать растворъ какой либо соли, то на отрицательномъ полюсѣ всегда выдѣляется металлъ, а остатокъ соли выдѣляется на положительномъ электродѣ. Въ нашемъ примѣрѣ, когда разлагается мѣдный купоросъ, на отрицательномъ электродѣ выдѣляется чистая металлическая мѣдь; если взять цинковый купоросъ, то на катодѣ осаждается цинкъ, въ азотнокисломъ серебрѣ—серебро, въ хлористомъ золотѣ—золото. При этомъ появляющіяся на

катодѣ вещества осаждаются всегда въ чистомъ металлическомъ видѣ. Уже отсюда ясно, насколько важно подобное дѣйствіе электрическаго тока: вѣдь благодаря ему можно изъ солей выдѣлять въ чистомъ видѣ ихъ металлы, каковой процессъ, если и можно производить какъ либо иначе, то лишь очень сложными вспомогательными средствами. Другая составная часть солей выдѣляется на положительномъ электродѣ. Обѣ составныя части электролита, на которыя онъ разлагается подъ вліяніемъ тока, называются его іонами (отъ ἰόν—странствующій); по предложенію Фарадея, составную часть, выдѣляющуюся на положительномъ электродѣ (анодѣ), называютъ аніономъ, а осаждающуюся на отрицательномъ, катодѣ (S)—катіономъ; поэтому мы можемъ высказать слѣдующее положеніе:

При всякомъ электролитическомъ разложеніи металлъ всегда выдѣляется на катодѣ, являясь такимъ образомъ катіономъ.

Къ металламъ относится въ этомъ отношеніи и водородъ. Такъ, въ сѣрной кислотѣ SO_4H_2 водородъ H_2 есть катіонъ, а SO_4—аніонъ.

Это общее положеніе, по которому обѣ составныя части электролита освобождаются,—одна на анодѣ, а другая на катодѣ,—можетъ иногда показаться не вполнѣ правильнымъ. Слѣдуетъ замѣтить, что если жидкость разлагается на свои составныя части, то эти послѣднія могутъ иногда дѣйствовать химически или на самую жидкость, или на электроды. Поэтому при электролизѣ очень часто получаютъ не дѣйствительные продукты разложенія, не двѣ составныя части самого электролита, а вещества, которыя возникаютъ подъ вліяніемъ чисто-химическаго дѣйствія іоновъ на жидкость или электроды. Электролитически выдѣляющіяся составныя части обусловливаютъ собою такъ называемые вторичные процессы. Если пропустить, напр., между платиновыми электродами токъ черезъ водяной растворъ хлористаго натрія (поваренной соли), то на положительномъ электродѣ выдѣляется свободный хлоръ, а на отрицательномъ—натрій. Но натрій тотчасъ же по возникновеніи начинаетъ дѣйствовать разлагающимъ образомъ на воду, образуя ѣдкій натръ и водородъ, тогда какъ свободный хлоръ сейчасъ же соединяется съ платиновымъ электродомъ въ хлористую платину; такимъ образомъ нельзя замѣтить появленія ни натрія, ни хлора. Да и вообще положительная составная часть, аніонъ, которымъ обыкновенно служитъ кислота, хлоръ

или какое либо другое, способное къ химическимъ реакціямъ вещество, почти всегда входитъ въ соединеніе съ металломъ электрода или съ жидкостью.

Точно также и металлъ, выдѣляющійся на отрицательномъ электродѣ, можетъ тотчасъ же вступать въ химическое соединеніе съ другими, имѣющимися налицо веществами, если онъ вообще обладаетъ способностью къ энергичнымъ химическимъ реакціямъ,—такъ, напримѣръ, щелочные металлы, калій и натрій, всегда дѣйствуютъ разлагающимъ образомъ на воду, имѣющуюся въ растворѣ, соединяясь съ нею въ ѣдкій кали и ѣдкій натръ и освобождая водородъ.

Подобные вторичные процессы вводили при первомъ открытіи электролиза въ заблужденіе, заставляя думать, что сама вода разлагается на свои составныя части, потому что, при прохожденіи черезъ нее тока, на отрицательномъ электродѣ всегда выдѣлялся водородъ, а на положительномъ—кислородъ. Поэтому и думали, что вода разлагается токомъ непосредственно на свои составныя части: водородъ и кислородъ. Но позднѣйшія изслѣдованія показали, что совершенно чистая вода, лишенная всякихъ слѣдовъ растворенныхъ въ ней солей, почти совсѣмъ не проводитъ электрическаго тока и является почти совершеннымъ изоляторомъ, а потому и не можетъ быть электролизована. Если же вода проводитъ болѣе или менѣе хорошо, что и имѣло мѣсто въ упомянутыхъ опытахъ надъ ея электролизомъ, то это значитъ, что въ ней растворены въ болѣе или менѣе значительныхъ количествахъ нѣкоторыя соли, главнымъ образомъ соли калія и натрія. Токомъ разлагаются только эти соли, а выдѣляющіеся на отрицательномъ электродѣ металлы разлагаютъ воду и выдѣляютъ изъ нея водородъ. Остатокъ солей соединяется на положительномъ электродѣ съ водородомъ и освобождаетъ кислородъ. Такимъ образомъ, при прохожденіи тока черезъ воду, всегда выдѣляются водородъ и кислородъ, т. е. ея составныя части, но выдѣляются они не непосредственно электролизомъ, а благодаря существованію вторичныхъ процессовъ. То же происходитъ, если воду слегка подкислить какой нибудь кислотой, напр., сѣрной, что и дѣлаютъ обыкновенно нарочно для того, чтобы вода стала лучшимъ проводникомъ. Въ дѣйствительности не вода проводитъ электрическій токъ, а сѣрная кислота (SO_4H_2); эта послѣдняя выдѣляетъ на отрицательномъ электродѣ непосредственно водородъ (H_2); аніонъ же (SO_4), который не можетъ

существовать въ свободномъ видѣ, соединяется на положительномъ электродѣ съ водородомъ воды (H_2O), освобождая такимъ образомъ кислородъ (O).

Точнымъ количественнымъ изслѣдованіемъ электролитическихъ явленій и нахожденіемъ законовъ, по которымъ они совершаются, наука опять таки обязана генію Фарадея.

Первымъ вопросомъ является, очевидно, слѣдующій: если опредѣленное соединеніе, напр., хлористый натрій, разлагается токомъ, то сколько въ такомъ случаѣ выдѣляется на электродахъ одновременно хлора и сколько натрія? На этотъ вопросъ дается слѣдующій отвѣтъ. Извѣстно, что въ химіи для всякаго вещества имѣется нѣкоторое число, атомный вѣсъ, которое вмѣстѣ съ химической формулой соединенія тотчасъ же показываетъ, сколько имѣется въ соединеніи вѣсовыхъ частей каждаго изъ составляющихъ его веществъ.

Если, напр., химія даетъ для хлора (Cl) атомный вѣсъ 35,5, а для серебра (Ag) 108, и если формула хлористаго серебра пишется AgCl, то это значитъ, что 35,5 вѣсовыхъ частей (граммовъ, сантиграммовъ, миллиграммовъ и т. д.) хлора, соединяясь со 108 вѣсовыми частями (граммами, сантиграммами, миллиграммами и т. д.) серебра, даютъ 143,5 части (грамма, сантиграмма, миллиграмма и т. д.) хлористаго серебра.

Если сѣра (S) имѣетъ атомный вѣсъ 32, кислородъ (O)—16, а мѣдь (Cu)—63,5, и если формула мѣднаго купороса обозначается черезъ SO_4Cu, то это значитъ, что 32 вѣсовыхъ части сѣры, соединяясь съ 64 вѣсовыми частями кислорода и 63,5 мѣди, образуютъ 159,5 вѣсовыхъ частей мѣднаго купороса.

Относительныя вѣсовыя количества въ нѣкоторомъ веществѣ составныхъ его частей называются эквивалентными вѣсами. Послѣдніе представляютъ изъ себя не что иное, какъ атомные вѣса, дѣленные на такъ называемую валентность или атомность. Водороду приписывается эквивалентный вѣсъ 1. Въ одноатомныхъ веществахъ, каковыми являются хлоръ, серебро и т. п. эквивалентный вѣсъ равенъ атомному вѣсу, въ двуатомныхъ веществахъ, мѣди, цинкѣ, сѣрѣ, кислородѣ, эквивалентный вѣсъ составляетъ только половину, а въ трехъ и четырехатомныхъ веществахъ—всего лишь треть или четверть атомнаго вѣса.

Такимъ образомъ на вышеприведенный вопросъ дается слѣдующій отвѣтъ: при всякомъ электролитическомъ разложеніи нѣкотораго вещества на электродахъ выдѣляются составныя части въ томъ именно вѣсовомъ отношеніи, въ какомъ онѣ находятся въ подверженномъ разложенію соединеніи; или: количества выдѣленныхъ іоновъ находятся въ отношеніи ихъ эквивалентныхъ вѣсовъ.

Если, слѣдовательно, подвергнуть электролизу хлористое серебро, то въ то время, какъ на анодѣ выдѣлится 35,5 гр. хлора, на катодѣ осадится 108 гр. серебра, или на каждый граммъ серебра образуется $\frac{35,5}{108}$ гр. хлора.

Законъ этотъ остается справедливымъ и въ томъ случаѣ, если однимъ и тѣмъ же токомъ разлагать одновременно цѣлый рядъ различныхъ жидкостей.

Во всѣхъ разлагаемыхъ электрически однимъ и тѣмъ же токомъ жидкостяхъ выдѣляются составныя части въ одно и то же время, въ количествахъ, находящихся въ вѣсовомъ отношеніи, равномъ отношенію ихъ химическихъ эквивалентныхъ вѣсовъ.

Слѣдующій примѣръ разъяснитъ намъ этотъ законъ. Если одинъ и тотъ же токъ пропустить послѣдовательно черезъ три сосуда, наполненные жидкостями, такъ, чтобы онъ одновременно разлагалъ жидкости во всѣхъ трехъ сосудахъ, то выдѣленныя количества іоновъ должны находиться въ отношеніи ихъ эквивалентныхъ вѣсовъ. Если первый сосудъ будетъ наполненъ растворомъ поваренной соли ($ClNa$), второй—разбавленной сѣрной кислотой (SO_4H_2) и третій—растворомъ хлористаго олова ($SnCl_2$), то въ нѣкоторое опредѣленное время въ первой жидкости на отрицательномъ электродѣ выдѣлится 23 гр. Na, а на положительномъ—35,5 Cl. Въ то же самое время во второй жидкости на катодѣ должно выдѣлиться эквивалентное натрію количество водорода, т. е. 1 гр., а не $H_2 = 2$ гр.; слѣдовательно, на анодѣ выдѣлится количество $^1/_2\ SO_4$ (=48 гр.), эквивалентное одному грамму водорода. Наконецъ въ третьей жидкости на положительномъ электродѣ выдѣлится 1 эквивалентъ Cl (35,5 гр., а не $Cl_2 = 71$ гр.) и эквивалентное количество олова, т. е. $^1/_2\ Sn$=59 гр.

Если выдѣлившіеся іоны вступаютъ во вторичные хими-

ческіе процессы съ электродами или жидкостью, то и каждый изъ іоновъ, въ свою очередь, соединяется, по законамъ химіи, съ такимъ количествомъ вѣсовыхъ частей электрода или жидкости, которое ему эквивалентно химически.

Другими словами: при электролизѣ или составныя части самого электролита, или вторичные продукты химическихъ реакцій выдѣляются непремѣнно въ химически-эквивалентныхъ количествахъ.

Третій важный вопросъ слѣдующій: въ какой зависимости отъ электрическаго тока находятся количества выдѣлившихся веществъ? Опыты Фарадея показали, что количества выдѣлившихся іоновъ, во первыхъ, зависятъ отъ продолжительности дѣйствія тока: ихъ тѣмъ больше, чѣмъ больше проходитъ черезъ электролитъ токъ; во вторыхъ, количество выдѣлившихся іоновъ зависитъ отъ силы тока.

Итакъ, количество электролитически выдѣляющагося въ каждую секунду вещества во всякомъ данномъ электролитѣ зависитъ исключительно отъ силы тока.

Токъ силою въ 10 амперъ выдѣлитъ въ одно и то же время въ 10 разъ больше іоновъ, чѣмъ токъ въ 1 амперъ; токъ силою въ 1 амперъ въ теченіе 10 секундъ выдѣлитъ совершенно столько же іоновъ, какъ и токъ въ 10 амперъ въ 1 секунду. Слѣдовательно, количество выдѣляющихся во всякомъ электролитѣ іоновъ зависитъ отъ произведенія силы тока на время, въ теченіе котораго этотъ токъ проходитъ. Произведеніе это назовемъ количествомъ электричества, прошедшаго черезъ электролитъ. Если силу тока выражать въ амперахъ, а время по обыкновенію въ секундахъ, то количеству электричества, равному произведенію 1 ампера на 1 секунду, даютъ особое названіе—1 кулона. Итакъ, подъ кулономъ мы разумѣемъ количество электричества, проходящее черезъ всякую часть цѣпи тока, если сила этого тока равна 1 амперу, и если онъ проходитъ по цѣпи въ теченіе одной секунды. Слѣдовательно, вѣсовыя количества выдѣляющихся въ каждомъ электролитѣ іоновъ зависятъ исключительно только отъ всего числа прошедшихъ черезъ электролитъ кулоновъ. Совершенно безразлично, много ли ихъ проходитъ въ теченіе короткаго промежутка времени, или немного въ теченіе продолжительнаго времени: для одного и того же общаго числа прошедшихъ

черезъ электролитъ кулоновъ и вѣсовое количество выдѣлившихся іоновъ будетъ однимъ и тѣмъ же.

Этими законами Фарадея, а особенно послѣднимъ изъ нихъ, можно пользоваться и въ обратномъ смыслѣ, что является весьма важнымъ факторомъ.

Чѣмъ больше сила тока, тѣмъ больше выдѣлится въ опредѣленное время іоновъ; и обратно: чѣмъ больше іоновъ выдѣляетъ въ данное время токъ, тѣмъ больше его сила. Слѣдовательно, химическими дѣйствіями тока можно пользоваться для измѣренія силы тока. Служащіе для этого приборы называются вольтаметрами. Какою жидкостью пользоваться въ вольтаметрѣ—это совершенно безразлично, такъ какъ во всѣхъ жидкостяхъ количество выдѣлившихся въ одно и то же время іоновъ пропорціонально эквивалентнымъ вѣсамъ.

На практикѣ употребляютъ мѣдный вольтаметръ, серебряный вольтаметръ и вольтаметръ съ гремучимъ газомъ.

Въ мѣдномъ вольтаметрѣ (рис. 134) въ растворъ сѣрно-

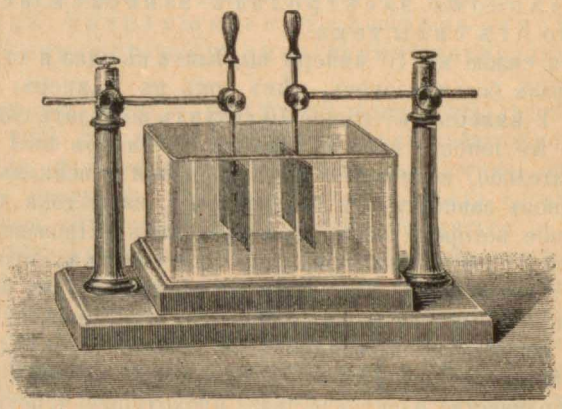


Рис. 134

кислой мѣди (мѣднаго купороса) погружены двѣ платиновыя пластинки. Если въ продолженіе опредѣленнаго времени—напримѣръ, въ теченіе одной минуты—пропускать токъ, то на отрицательномъ платиновомъ электродѣ выдѣляется мѣдь и по находимому взвѣшиваніемъ количеству выдѣлившейся мѣди очень нетрудно опредѣлить и силу тока. Для этого нужно только

разъ навсегда знать, сколько мѣди выдѣляетъ токъ силою въ 1 амперъ въ теченіе 1 минуты; зная же это число, нетрудно измѣрить въ амперахъ и любую силу тока. Токъ силою въ 1 амперъ выдѣляетъ въ 1 минуту 16,69 миллиграмма мѣди, какъ это показали точныя измѣренія. Слѣдовательно, по выдѣлившемуся количеству мѣди можно опредѣлить, сколько амперъ содержится въ силѣ тока, проходившаго черезъ вольтаметръ.

Что касается серебрянаго вольтаметра, въ которомъ употребляется растворъ азотнокислаго серебра, то имъ пользоваться очень удобно, такъ какъ онъ даетъ весьма точные результаты. Ему придаютъ обыкновенно видъ, изображенный на рис. 135. Растворъ азотнокислаго серебра наливается въ платиновый сосудикъ A, стоящій на металлической подставкѣ, къ которой придѣланъ зажимной винтъ *b*, служащій для подведенія къ вольтаметру тока. Этотъ платиновый сосудикъ служитъ одновременно и отрицательнымъ электродомъ, на которомъ осаждается выдѣляющееся электролитически серебро. Роль положительнаго электрода играетъ небольшая, погруженная въ растворъ, серебряная палочка. При электролизѣ раствора серебро осаждается, слѣдовательно, на платиновомъ сосудикѣ, а остатокъ соли, азотная кислота, выдѣляется на положительномъ электродѣ, серебрѣ, и тотчасъ соединяется съ нимъ снова въ азотнокислое серебро, которое растворяется въ жидкости. Это даетъ то преимущество, что растворъ все время остается насыщеннымъ. Дѣйствительно, по закону Фарадея, на платиновомъ тиглѣ осаждается такое же количество серебра, какое растворяется отъ серебряной палочки. Токъ

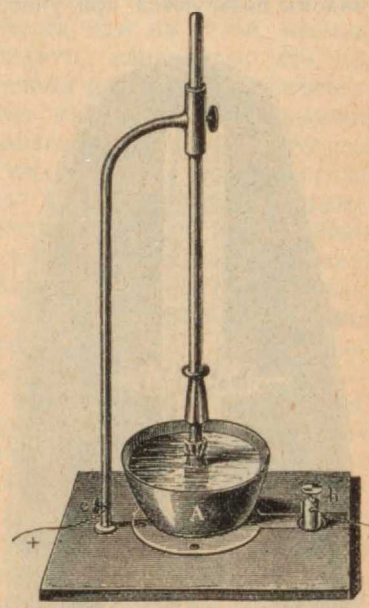


Рис. 135

силою въ 1 амперъ выдѣляетъ въ 1 минуту 67,10 миллиграмма серебра. Слѣдовательно, измѣривъ время прохожденія тока и зная разность вѣсовъ платиноваго сосуда до и послѣ опыта, мы можемъ тотчасъ же опредѣлить въ амперахъ силу тока.

Вмѣсто того, чтобы судить о выдѣлившемся количествѣ электролита по одному іону, какъ это было въ двухъ вышеуказанныхъ случаяхъ, можно подвергать совмѣстному измѣренію для опредѣленія силы тока въ амперахъ и оба іона, Этимъ методомъ пользуются при употребленіи вольтаметра съ гремучимъ газомъ. Въ немъ употребляютъ подкисленную воду, въ которой при прохожденіи тока на платиновыхъ электродахъ выдѣляются въ газообразномъ состояніи кислородъ и водородъ. Оба эти газа, перемѣшиваясь, образуютъ хорошо извѣстный гремучій газъ. Если опредѣлить объемъ выдѣлившагося въ теченіе одной минуты гремучаго газа, то можно по найденнымъ даннымъ опредѣлить и силу тока въ амперахъ, такъ какъ 1 амперъ въ 1 минуту выдѣляетъ при нормальномъ давленіи и нормальной температурѣ 10,440 куб. см. гремучаго газа.

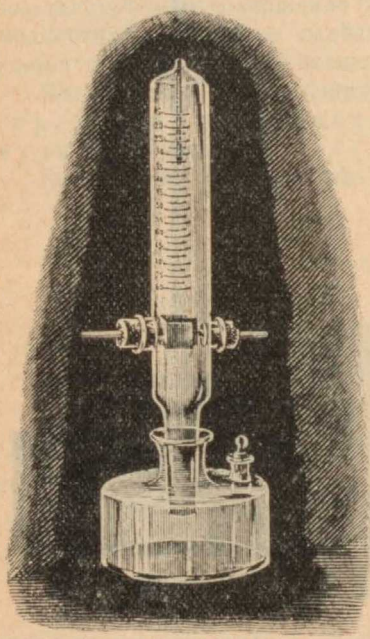


Рис. 136

Кольраушъ придалъ вольтаметру съ гремучимъ газомъ (водяному вольтаметру) очень удобную форму. Его вольтаметръ, изображенный на рис. 136, состоитъ изъ раздѣленной на кубическіе сантиметры широкой трубки, которая вставляется своимъ шлифованнымъ концомъ въ горлышко широкаго сосуда. Какъ этотъ послѣдній, такъ и сама трубка наполнены разбавленной ($^1/_{10}$) сѣрной кислотой. Въ трубкѣ

находятся два платиновыхъ электрода, одинъ изъ которыхъ охватываетъ въ видѣ вилки другой. Проволоки отъ электродовъ проходятъ черезъ каучуковыя трубки наружу и опущены въ ртутныя чашечки, устроенныя на подставкѣ прибора. Выдѣлившійся гремучій газъ выгоняетъ воду изъ градуированной трубки; объемъ газа можно непосредственно отсчитать по трубкѣ, а температуру его мы узнаемъ изъ показаній помѣщеннаго въ трубкѣ термометра.

Итакъ, отдѣльные факты, равно какъ и законы электролиза, извѣстны намъ съ очень большою точностью. Но какъ объяснить эти факты, какъ свести ихъ на болѣе простыя представленія? Почему происходитъ, напримѣръ, что при электролизѣ освободившіяся составныя части осаждаются всегда только на электродахъ? Если токъ дѣйствуетъ разлагающимъ образомъ на жидкость, то не долженъ ли онъ проявлять свое дѣйствіе на всемъ протяженіи жидкости, по которой проходитъ, а не только на электродахъ? Отчего происходитъ также, что освобождающіеся іоны находятся всегда въ отношеніи химическихъ эквивалентныхъ вѣсовъ? Эти явленія дѣлаетъ понятными теорія растворовъ Клаузіуса-Арреніуса, которая, вмѣстѣ со всѣми вытекающими изъ нея слѣдствіями, до сихъ поръ безусловно подтверждается опытомъ. По этой теоріи, каждая составная молекула—напр., хлористый натрій (NaCl)—состоитъ изъ двухъ составныхъ частей противоположно заряженныхъ атомовъ, положительнаго металла и отрицательнаго остатка. Эти атомы, носящіе на себѣ сильные электрическіе заряды, суть іоны молекулы. Поэтому молекула, какъ таковая, не заряжена электричествомъ. Если такую соль растворить въ жидкости,—напр., въ водѣ,—то нельзя однако предположить, что въ водѣ находятся только молекулы хлористаго натрія (поваренной соли). Напротивъ, само явленіе растворенія вызываетъ сильную диссоціацію этихъ молекулъ. Отдѣльныя молекулы поваренной соли распадаются въ растворѣ на свои іоны, а причину этой диссоціаціи можно видѣть въ томъ, что каждая молекула быстро и сильно движется въ жидкости, сталкиваясь съ другими молекулами и распадаясь вслѣдствіе этого на свои составныя части. Итакъ, въ жидкости непрерывно происходятъ распаденія молекулъ на іоны и новыя соединенія этихъ послѣднихъ въ молекулы; при этомъ они происходятъ такъ, что бо́льшая часть всѣхъ молекулъ диссоціирована. Это представленіе о природѣ раз-

лагаемой токомъ жидкости еще совершенно независимо отъ явленія электролиза. Если теперь въ такую диссоціированную жидкость опустить двѣ пластины электродовъ, изъ которыхъ одна наэлектризована положительно, а другая—отрицательно, то электричество этихъ пластинъ дѣйствуетъ притягивающимъ и отталкивающимъ образомъ на электрическіе заряды іоновъ. Отрицательный электродъ притягиваетъ положительно наэлектризованные іоны, содержащіе металлъ, а положительный электродъ притягиваетъ отрицательный остатокъ. Внутри жидкости происходитъ, слѣдовательно, непрерывное движеніе, движеніе всѣхъ катіоновъ въ одномъ направленіи, всѣхъ аніоновъ въ другомъ направленіи. Однако при этомъ движеніи повсюду въ самой жидкости остается одно и то же число положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ. Слѣдовательно, сама по себѣ жидкость остается, повидимому, неизмѣнившейся.

Иначе обстоитъ дѣло на границѣ жидкости, у самыхъ пластинъ электродовъ. Тамъ непрерывно къ отрицательному заряду подступаютъ положительные металлическіе іоны. Они отдаютъ свой зарядъ электроду и остаются какъ бы прилипшими къ нему, но уже ненаэлектризованными. Точно также и аніоны выдѣляются ненаэлектризованными на положительномъ электродѣ и осѣдаютъ на немъ, или же, если они газообразны, уходятъ въ воздухъ.

По этой теоріи, слѣдовательно, не токъ разлагаетъ молекулы,—скорѣе, молекулы уже большею частью разложены, а токъ вызываетъ только нѣкоторое опредѣленное движеніе этихъ частей молекулъ, іоновъ.

Прохожденіе тока черезъ электролитъ бываетъ, слѣдовательно, всегда связано съ нѣкоторымъ движеніемъ матеріальныхъ атомовъ электролита, его іоновъ. Но уже сами эти іоны наэлектризованы, а имѣющійся въ электролитѣ токъ образуется только движеніями такихъ зарядовъ іоновъ. Итакъ, по этому представленію токъ въ электролитѣ состоитъ въ движеніи положительныхъ іоновъ къ катоду, а отрицательныхъ—къ аноду; онъ не только связанъ съ подобнымъ двойнымъ движеніемъ іоновъ, но и самъ состоитъ просто въ этомъ движеніи.

Законъ Фарадея гласитъ, что во всѣхъ жидкостяхъ іоны всегда отлагаются въ эквивалентныхъ количествахъ. Поэтому въ эквивалентныхъ же количествахъ они должны принимать участіе и въ проводимости тока. Другими словами:

эквивалентный вѣсъ какого бы то ни было іона долженъ нести на себѣ такое же самое количество электричества, какъ и эквивалентный вѣсъ какого либо другого іона. Если, слѣдовательно, одинъ граммъ водорода несетъ на себѣ нѣкоторое опредѣленное количество положительнаго электричества (нѣсколько кулоновъ), то столько же кулоновъ должны нести на себѣ 23 гр. натрія, 39 гр. калія, 31,6 гр. мѣди, 107,7 гр. серебра; столько же отрицательныхъ кулоновъ должны переноситься 8 гр. кислорода, 48 гр. SO_4, 62 гр. NO_3. Итакъ, изъ закона Фарадея слѣдуетъ:

Всѣ эквивалентные вѣса различныхъ іоновъ несутъ на себѣ одинаковое число кулоновъ, положительныхъ, если они—катіоны, отрицательныхъ, если они—аніоны.

Граммъ-эквивалентомъ нѣкотораго вещества называется въ химіи то число граммовъ этого вещества, которое равно его эквивалентному вѣсу. Итакъ, одинъ граммъ-эквивалентъ натрія составляетъ 23 Na; одинъ граммъ-эквивалентъ серебра—107,7 Ag и т. д.

Теперь мы можемъ вычислить, сколько кулоновъ связано съ каждымъ граммъ-эквивалентомъ каждаго вещества. Припомнимъ для этого, что если по цѣпи протекаетъ токъ въ 1 амперъ въ продолженіе одной секунды, то тогда черезъ эту цѣпь пройдетъ какъ разъ 1 кулонъ. Токъ силою въ 1 амперъ выдѣлитъ въ 1 секунду изъ азотнокислаго серебра (см. стр. 206) 1,1183 миллигр. серебра и эквивалентное количество NO (0,6440 миллигр.).

По вышеуказанному представленію, этотъ токъ въ электролитѣ состоитъ въ томъ, что $^1/_2$ кулона положительнаго электричества передвинется къ катоду съ одновременнымъ передвиженіемъ $^1/_2$ кулона отрицательнаго электричества къ аноду. Слѣдовательно, наши 1,1183 мгр. (=0,0011183 гр.) серебра прочно связаны съ $^1/_2$ кулона, т. е. 1 граммъ-эквивалентъ серебра связанъ съ $\frac{107,7}{2\times 0,0011183} = 48270$ кулоновъ. Столько же кулоновъ несетъ на себѣ одинъ граммъ-эквивалентъ другого вещества. Мы имѣемъ, слѣдовательно, такое положеніе:

Граммъ-эквивалентъ всякаго іона связанъ съ 48270 кулонами положительными или отрицательными.

Такъ какъ при разложеніи каждаго граммъ-эквивалента

нѣкотораго вещества выдѣляются оба его іона, то при всякомъ электролитическомъ разложеніи на одинъ граммъ-эквивалентъ разложеннаго вещества приходится 96540 кулоновъ, прошедшихъ черезъ жидкость. Согласно новѣйшимъ положеніямъ, это число обозначается буквою F. Слѣдовательно, граммъ эквивалентъ какого либо разложеннаго вещества содержитъ въ себѣ F кулоновъ, одна половина которыхъ положительна, другая—отрицательна.

Результатомъ сдѣланныхъ нами до сихъ поръ разсмотрѣній является слѣдующее. При прохожденіи электрическаго тока черезъ разлагаемую жидкость всегда происходитъ электролизъ; слѣдовательно, электролитическое разложеніе жидкостей должно происходить также и въ самомъ гальваническомъ элементѣ, черезъ который протекаетъ создаваемый имъ же самимъ токъ. Это и наблюдается на самомъ дѣлѣ. Представимъ себѣ, напримѣръ, что токъ протекаетъ по элементу Даніеля, состоящему изъ мѣди въ мѣдномъ купоросѣ и цинка въ разбавленной сѣрной кислотѣ. Въ такомъ случаѣ обѣ жидкости разлагаются: мѣдный купоросъ ($CuSO_4$) распадается на мѣдь (Cu) и SO_4, каковое соединеніе не можетъ существовать въ свободномъ видѣ; разбавленная сѣрная кислота разлагается на водородъ (H_2) и SO_4. Въ самомъ элементѣ мѣдь служитъ отрицательнымъ электродомъ, такъ какъ въ элементѣ токъ течетъ отъ цинка къ мѣди. Вслѣдствіе этого выдѣлившаяся изъ мѣднаго купороса мѣдь осаждается на мѣдномъ электродѣ, покрывая его во время прохожденія тока блестящимъ слоемъ чистой металлической мѣди. Остатокъ SO_4 изъ мѣднаго купороса идетъ по направленію къ цинку. Однако въ то же время съ этимъ остаткомъ SO_4 на пути къ мѣдному электроду встрѣчается водородъ (H_2), освободившійся изъ подвергнутой электролизу сѣрной кислоты; обѣ эти составныя части снова соединяются въ H_2SO_4. Другая составная часть электролизированной сѣрной кислоты SO_4 идетъ къ цинку, служащему въ элементѣ положительнымъ электродомъ, и тотчасъ же соединяется съ нимъ въ сѣрнокислый цинкъ (цинковый купоросъ) $ZnSO_4$. Результатомъ этихъ химическихъ процессовъ въ цѣпи является то, что цинкъ все время растворяется въ сѣрной кислотѣ, а одновременно съ этимъ на мѣдномъ электродѣ осаждается эквивалентное количество мѣди.

Термохимія учитъ насъ, что при раствореніи цинка въ

сѣрной кислотѣ всегда образуется извѣстное количество теплоты; на выдѣленіе же мѣди изъ мѣднаго купороса затрачивается нѣкоторое другое, и притомъ гораздо меньшее, количество теплоты. Слѣдовательно, при химическихъ процессахъ въ цѣпи освобождается извѣстное количество тепла. Однако это количество тепла не остается свободнымъ въ элементѣ,— оно не служитъ къ тому, чтобы повысить температуру этого послѣдняго: энергія этого количества тепла обращается (по крайней мѣрѣ отчасти) въ электрическую энергію и идетъ на поддержаніе электрическаго тока. Поэтому можно сказать, что когда въ элементѣ образуется и поддерживается электрическій токъ, то энергія тока, т. е. то количество работы, которое можетъ дать токъ, доставляется на счетъ теплоты, освобождаемой химическими процессами въ цѣпи.

Другимъ результатомъ нашихъ разсмотрѣній, результатомъ значительной важности, является слѣдующее. Если пропустить гальваническій токъ по вольтаметру, то вслѣдствіе этого самъ вольтаметръ обратится въ гальваническій элементъ, т. е. въ немъ появится электродвижущая сила, которая и сама можетъ вызвать токъ Въ нѣкоторыхъ случаяхъ необходимость этого очевидна a priori. Пропустимъ, напримѣръ, токъ при помощи двухъ платиновыхъ пластинокъ черезъ растворъ азотнокислаго серебра. Двѣ пластинки изъ одинаковаго металла, опущенныя въ одну жидкость, не даютъ электродвижущей силы, но если черезъ этотъ вольтаметръ пропустить токъ, то азотнокислое серебро разлагается, и одна изъ платиновыхъ пластинъ покрывается слоемъ осадившагося серебра. Слѣдовательно, теперь въ вольтаметрѣ нѣтъ уже двухъ чистыхъ платиновыхъ пластинокъ: одна изъ нихъ остается совершенно чистой, а другая покрыта серебромъ. Но два различныхъ металла въ одной жидкости электрически дѣятельны по отношенію другъ къ другу; слѣдовательно, благодаря электролизу, въ вольтаметрѣ должна появиться нѣкоторая электродвижущая сила. Этотъ результатъ такого простого соображенія существуетъ въ природѣ и на самомъ дѣлѣ. Если мы послѣ электролиза соединимъ вольтаметръ съ гальванометромъ (выключивъ первоначальный, вызывавшій электролизъ, источникъ тока), то черезъ гальванометръ пройдетъ электрическій токъ, отклоняющій магнитную стрѣлку и дающій доказательство того, что благодаря электролизу самъ вольтаметръ сдѣлался своего рода гальваническимъ

элементомъ. Нѣкоторая электродвижущая сила появляется въ вольтаметрѣ не только тогда, если одинъ изъ электродовъ покрытъ слоемъ другого металла,—даже ивъ такихъ случаяхъ, когда нельзя ни замѣтить, ни даже предположить измѣненія электродовъ, послѣдніе образуютъ другъ съ другомъ электродвижущую силу послѣ того, какъ черезъ нихъ прошелъ токъ. Опустимъ, напр., двѣ платиновыхъ пластинки въ подкисленную воду и пропустимъ черезъ устроенный такимъ образомъ вольтаметръ электрическій токъ; тогда, какъ извѣстно, на одномъ электродѣ образуется водородъ, а на другомъ—кислородъ. Можно было бы предположить, что газы эти не измѣняютъ платиновыхъ электродовъ, такъ что электроды не должны были бы при этомъ давать другъ съ другомъ электродвижущей силы, однако подобное явленіе наблюдается и въ данномъ случаѣ. При всякомъ электролитическомъ разложеніи электроды приходятъ въ нѣкоторое измѣненное состояніе, дѣйствующее на нихъ такимъ образомъ, что они образуютъ другъ съ другомъ электродвижущую силу. Для обозначенія этого состоянія ввели слово поляризація: говорятъ, что электроды поляризуются. Всегда при прохожденіи тока черезъ вольтаметръ электроды въ этомъ послѣднемъ поляризуются, а если ихъ соединить между собою проволокой, то какъ по этой проволокѣ, такъ и по вольтаметру потечетъ электрическій токъ, называемый обыкновенно поляризаціоннымъ токомъ.

Поляризаціонный токъ протекаетъ всегда въ вольтаметрѣ въ направленіи, противоположномъ направленію первоначальнаго тока, называемаго также поляризующимъ. При разложеніи воды поляризующій токъ протекаетъ въ элементѣ отъ кислороднаго электрода къ водородному, такъ какъ первый изъ нихъ соединенъ съ положительнымъ полюсомъ поляризующаго элемента, а послѣдній—съ его отрицательнымъ полюсомъ. Что же касается поляризаціоннаго тока, то онъ имѣетъ обратное направленіе, т. е. идетъ отъ водороднаго электрода къ кислородному.

Электродвижущая сила поляризаціоннаго тока зависитъ отъ того, изъ какихъ металловъ и какихъ жидкостей состоитъ вольтаметръ. У платиновыхъ электродовъ въ разбавленной сѣрной кислотѣ возникаетъ электродвижущая сила въ 2,7 вольта, а свинцовые электроды, погруженные въ такую же разбавленную сѣрную кислоту, даютъ электродвижущую силу около 2 вольтъ.

Такъ какъ вольтаметръ подъ вліяніемъ поляризующаго тока обращается въ гальваническій элементъ, то его называютъ также вторичнымъ элементомъ. Поляризующій или первичный токъ, обращающій вольтаметръ во вторичный элементъ, какъ говорятъ, заряжаетъ этотъ вольтаметръ. Поляризаціонный токъ называютъ также разряднымъ токомъ.

Если устроить вторичный элементъ—напримѣръ, съ помощью покрытія платиновыхъ пластинъ выдѣлившимися изъ разбавленной сѣрной кислоты водородомъ и кислородомъ—и соединить электроды между собою внѣшней проволокой, по которой, слѣдовательно, потечетъ поляризаціонный токъ, то этотъ послѣдній, какъ и всякій вообще токъ, будетъ оказывать нѣкоторое электрическое дѣйствіе на сѣрную кислоту элемента. Изъ сѣрной кислоты выдѣлятся водородъ и кислородъ; внутри элемента водородъ появится на томъ электродѣ, который заряженъ кислородомъ, а кислородъ — на томъ, который заряженъ водородомъ. На каждомъ изъ обоихъ электродовъ газы эти снова соединяются въ воду. Слѣдовательно, токомъ уменьшается поляризація электродовъ, и потому доставляемый элементомъ токъ въ концѣ концовъ долженъ прекратиться, разъ весь водородъ съ одного электрода и весь кислородъ съ другого снова соединятся въ воду. Разрядный токъ прекращается, лишь только элементомъ будетъ отданъ зарядъ, введенный въ него раньше.

Такіе вторичные элементы можно, конечно, изготовлять изъ всевозможныхъ металловъ и жидкостей.

Честь изобрѣтенія перваго весьма цѣлесообразнаго вторичнаго элемента принадлежитъ Гастону Планте, продѣлавшему цѣлый рядъ весьма тщательныхъ опытовъ. Онъ нашелъ, что для вторичныхъ элементовъ особенно пригоденъ свинецъ. Планте погрузилъ двѣ свинцовыя пластины въ разбавленную сѣрную кислоту и пропустилъ черезъ всю эту систему первичный токъ.

При этомъ, если мы будемъ разсматривать лишь главные химическіе процессы, сѣрная кислота (SO_4H_2) разлагается на водородъ H_2 и SO_4, каковое соединеніе не существуетъ въ свободномъ состояніи. Изъ этого послѣдняго одинъ атомъ кислорода тотчасъ же уходитъ на соединеніе со свинцомъ. Два такихъ атома кислорода въ соединеніи съ однимъ атомомъ свинца образуютъ перекись свинца (PbO_2), тогда какъ освободившійся безводный остатокъ сѣрной кислоты SO_3 тот-

часъ отнимаетъ у раствора воду и снова образуетъ SO_4H_2. Такимъ образомъ въ результатѣ электролиза оказывается, что на томъ свинцовомъ электродѣ, который былъ соединенъ съ отрицательнымъ полюсомъ первичной батареи, выдѣляется свободный водородъ, между тѣмъ какъ на положительномъ электродѣ образуется перекись свинца. Если отрицательный электродъ былъ немного окисленъ (будучи оставленъ на воздухѣ или другимъ способомъ), то выдѣляющійся на такомъ электродѣ водородъ, отнимая отъ него кислородъ, возстановляетъ его и обращаетъ въ чистый металлическій свинецъ. Итакъ, если поляризація вполнѣ закончена, то изъ электролитической системы получается гальваническій элементъ, въ составъ котораго входятъ:

свинецъ—разбавленная сѣрная кислота—перекись свинца.

Такой элементъ даетъ электродвижущую силу въ 2 вольта. Если же элементъ только что заряженъ, то отрицательный электродъ бываетъ еще покрытъ водородомъ, а потому получается система:

свинецъ съ осажд. водородомъ—сѣрная кислота—перекись свинца, электродвижущая сила которой немного больше, а именно равна 2,2—2,4 вольта.

Если такой элементъ замкнуть внѣшнею цѣпью, то черезъ послѣднюю, равно какъ и черезъ элементъ, потечетъ полуризаціонный токъ, который путемъ электролиза снова будетъ разлагать сѣрную кислоту. Теперь на перекиси свинца освободится водородъ, а на чистомъ металлическомъ свинцѣ образуется кислородъ. Вслѣдствіе этого перекись свинца возстановится въ окись (PbO), но тотчасъ же обратится, благодаря сѣрной кислотѣ, въ сѣрнокислый свинецъ ($PbSO_4$); что же касается чистой металлической свинцовой пластинки, то она окислится до окиси свинца и дастъ опять таки сѣрнокислый свинецъ. Токъ прекратится, какъ только обѣ пластинки покроются сѣрнокислымъ свинцомъ. Полное количество образованной первоначально перекиси свинца зависитъ отъ силы и продолжительности первичнаго тока, иными словами, отъ полнаго количества электричества, которое протекло въ первичномъ токѣ во время заряженія вторичнаго элемента. Полное количество электричества, какое вообще можетъ отдать вторичный элементъ, не можетъ быть больше и лишь въ крайнемъ

случаѣ равно полному количеству электричества, сообщеннаго элементу заряжающимъ токомъ.

Наибольшій зарядъ, какой можетъ быть сообщенъ вторичному элементу, называется его емкостью. Она зависитъ отъ количества свинца, превратившагося въ перекись, т. е. отъ свойствъ и вѣса элемента, а въ особенности отъ величины поверхности положительной пластины, на которой образуется перекись свинца.

Емкость аккумулятора дается обыкновенно въ амперъ-часахъ: такъ, напримѣръ, элементъ съ емкостью въ 600 амперъ-часовъ можетъ давать въ продолженіе 5 часовъ токъ въ 120 амперъ или въ продолженіе 10 часовъ—токъ въ 60 амперъ и т. д. Однако нельзя устроить такъ просто сильнодѣйствующій элементъ Планте. Недостаточно погрузить только двѣ свинцовыя пластинки въ разбавленную сѣрную кислоту, зарядить ихъ и затѣмъ уже пользоваться поляризаціоннымъ токомъ. Такой токъ продолжался бы въ этомъ случаѣ очень недолго и обладалъ бы крайне быстро уменьшающеюся электродвижущею силою. Нужно еще формировать элементъ. Рѣчь идетъ о томъ, чтобы выдѣляющійся на одной изъ свинцовыхъ пластинъ кислородъ, по возможности полностью, переходилъ въ перекись свинца. Но кислородъ выдѣляется изъ сѣрной кислоты на поверхности свинца и потому дѣйствуетъ почти исключительно только на поверхностный слой. Поэтому должно озаботиться о томъ, чтобы кислородъ проникъ, куда только можно, въ свинцовую пластинку и окислилъ ее и внутри. Этого достигъ Планте тѣмъ, что не одинъ разъ, а нѣсколько разъ подрядъ, въ теченіе нѣсколькихъ дней, даже мѣсяцевъ, заряжалъ элементъ и снова разряжалъ его, замыкая внѣшнимъ проводомъ. При этомъ кислородъ со дня на день проникалъ въ свинецъ все глубже и глубже, и при каждомъ новомъ заряженіи все бо̀льшія и бо̀льшія количества свинца обращались въ перекись. Планте формировалъ такимъ образомъ свои элементы въ теченіе нѣсколькихъ мѣсяцевъ. Лишь въ этомъ случаѣ элементы достигаютъ наибольшаго своего дѣйствія, лишь въ этомъ случаѣ они имѣютъ ту емкость, какая соотвѣтствуетъ вѣсу ихъ свинца. Послѣ такой обработки, т. е. для вполнѣ готоваго элемента Планте, достаточно уже однократнаго заряда, чтобы привести элементъ въ состояніе, въ которомъ имъ можно было бы пользоваться.

Если теперь такой элементъ Планте зарядить, то при со-

единеніи его электродовъ внѣшнею цѣпью онъ во всякое время даетъ электрическій токъ, возвращающій приблизительно все то количество электричества, которое прошло въ заряжающемъ токѣ. Пока свинцовые электроды находятся въ химически измѣненномъ состояніи, элементъ имѣетъ способность доставлять токъ. Если элементъ не замкнутъ, то химическое измѣненіе сохраняется болѣе или менѣе продолжительное время. Такимъ образомъ является возможность сохранить нѣкоторое количество электричества въ теченіе извѣстнаго времени, если употребить это электричество на заряженіе элемента Планте. Электричество накопляется въ элементѣ въ видѣ химическаго превращенія и черезъ нѣкоторое время можетъ быть вновь получено изъ него. Такой вторичный элементъ служитъ, слѣдовательно, вообще къ накопленію электричества. Поэтому вторичные элементы называются также аккумуляторами (собирателями).

Формировка элементовъ, которою пользовался Планте, нѣсколько ускоряется благодаря остроумному методу, введенному въ практику Форомъ. Можно предварительно обложить оба свинцовые электрода слоемъ сурика, который уже самъ по себѣ есть соединеніе свинца съ кислородомъ. Сурикъ представляетъ собою ярко-красный порошокъ, который считается обыкновенно соединеніемъ окиси свинца (PbO) и перекиси его (PbO_2) и обозначается формулой Pb_3O_4. Растирая этотъ порошокъ въ водѣ и приготовляя изъ него густую кашицу, ее намазываютъ на пластины, которыя имѣютъ для этого обыкновенно рядъ сдѣланныхъ въ свинцѣ углубленій, въ которыхъ и держится крѣпко сурикъ. Если элементъ заряжается, то на положительномъ электродѣ рыхлый сурикъ вполнѣ обращается въ перекись свинца (изъ $Pb_3O_4 + O$ образуется $2\ PbO_2$), тогда какъ на отрицательномъ онъ возстановляется водородомъ въ чистый свинецъ. Вслѣдствіе того, что сурикъ—порошкообразное тѣло, газы не только остаются на поверхности, но могутъ легко проникать и внутрь пластинъ; благодаря этому заряжающій токъ быстро производитъ химическое превращеніе.

Благодаря такому искусственному пріему обработка элемента до наибольшаго его дѣйствія производится гораздо скорѣе и легче.

Въ Германіи большею частью употребляютъ такъ называемые тюдоровскіе аккумуляторы, изготовляемые аккумуляторною фабрикою въ вюртембергскомъ городѣ Гагенѣ; они обла-

дають большою прочностью и дають значительное полезное дѣйствіе. Свинцовыя пластины этихъ элементовъ обрабатываются, въ сущности говоря, по методу Планте. Положительныя пластины не плоски, а снабжены горизонтальными выемками, какъ это видно изъ рис. 137. Рис. 138 изображаетъ поперечное сѣченіе такой пластины и даетъ, слѣдовательно, представленіе о глубинѣ вышеупомянутыхъ выемокъ. Эти свинцовыя пластины формируются въ продолженіе 2—3 мѣсяцевъ, для чего онѣ продолжительное время заряжаются, разряжаются, заряжаются въ противоположномъ направленіи, разряжаются и т. д. При этомъ положительныя пластины покрываются сло-

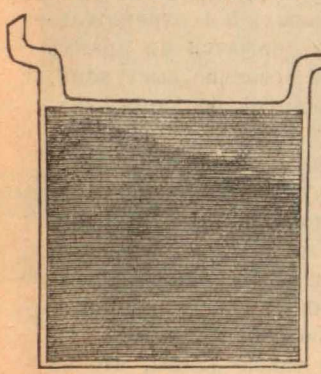


Рис. 137

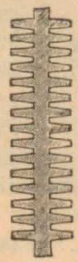


Рис. 138

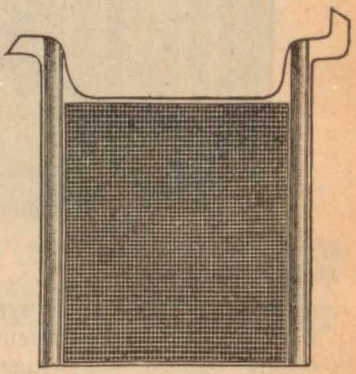


Рис. 139

емъ перекиси свинца въ $^1/_2$ м.м. толщиною, каковой слой держится на свинцѣ необыкновенно крѣпко. На образованный такимъ образомъ слой, въ выемки пластинъ, кладется сурикъ, черезъ который недѣли двѣ пропускаютъ токъ, обращающій его въ перекись свинца, которая также держится на пластинахъ очень крѣпко.

Отрицательныя пластины, изображенныя на рис. 139, представляютъ собою рѣшетки, въ отверстія которыхъ вставлены кусочки свинца, превращающіеся при заряженіи въ рыхлый пористый свинецъ. Свинцовыя пластины, какъ это видно изъ рисунковъ, имѣютъ такую форму, при которой онѣ справа и слѣва обладаютъ выступающими кончиками; ими-то онѣ и держатся на краяхъ сосуда, въ который погружаются. Нѣсколько положи-

тельныхъ и нѣсколько отрицательныхъ сформированныхъ пластинъ опускаются въ деревянный или стеклянный сосудъ, наполненный сѣрной кислотой. При этомъ отрицательныхъ пластинъ всегда на одну больше, такъ что каждая положительная пластина виситъ между двумя отрицательными.

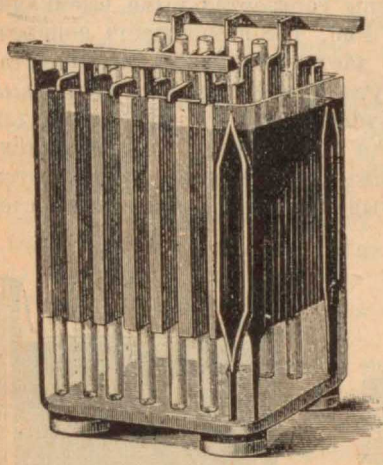


Рис. 140

Рис. 140 изображаетъ такой аккумуляторъ въ стеклянномъ сосудѣ. Пластины (въ данномъ случаѣ 3 положительныхъ и 4 отрицательныхъ) держатся на краяхъ сосуда своими выступами. Каждыя двѣ сосѣднія пластины предохраняются отъ взаимнаго соприкосновенія и изолируются другъ отъ друга стеклянными трубками. Самъ же сосудъ устанавливается на стеклянныхъ ножкахъ, покрытыхъ каучуковой пластинкой. Свинцовая планочка, которою соединены между собою отрицательныя пластины одного аккумулятора, дѣлается такой длины, что на ней, какъ это видно изъ рис. 141, держатся въ то же время и положительныя пластины слѣдующаго аккумулятора. Для соединенія пластинъ со свинцовой планочкой онѣ припаиваются къ этой послѣдней. Многопластинчатые аккумуляторы монтируются въ деревянныхъ сосудахъ.

Какъ много электричества можетъ быть накоплено въ аккумуляторѣ, т. е. какъ велика его емкость, это зависитъ, конечно, отъ его размѣровъ. Болѣе существеннымъ вопросомъ является то, какая часть накопленной электрической энергіи можетъ быть полезно отдана аккумуляторомъ при разряженіи. Отношеніе возвращенной энергіи къ затраченной называется полезнымъ дѣйствіемъ аккумулятора. Это полезное дѣйствіе тѣмъ больше, чѣмъ лучше приготовленъ вторичный элементъ.

Для опредѣленія накопляемой энергіи слѣдуетъ измѣрять во время зарядки аккумулятора напряженіе у его зажимовъ, а равно и силу заряжающаго его тока. Произведеніе этихъ

величинъ даетъ выраженное въ ваттахъ количество энергіи, приходящее въ секунду въ аккумуляторъ. Если это количество помножить на время, въ теченіе котораго производилась зарядка, то и получится полная накопленная энергія.

Подобнымъ же образомъ энергія, возвращаемая при разрядѣ аккумуляторомъ, опредѣляется, какъ произведеніе напряженія аккумулятора при разрядѣ на силу разряжающаго тока и на время разряда. И эта энергія выражается въ ваттъ-ча-

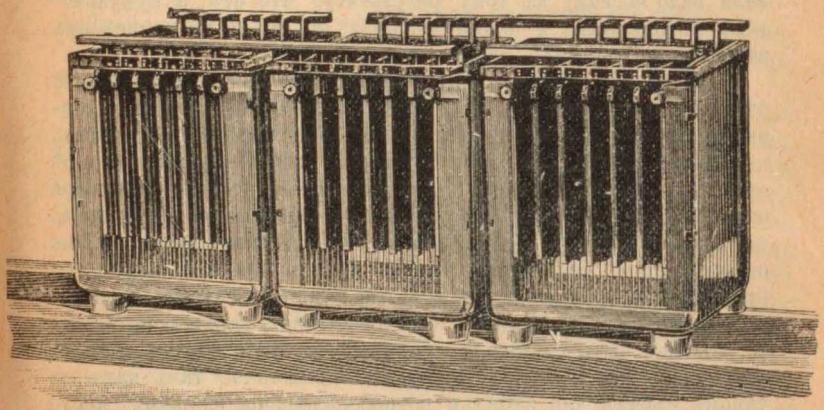


Рис. 141

сахъ. Отношеніе числа ваттъ-часовъ разряженія къ ваттъ-часамъ заряда и есть полезное дѣйствіе аккумулятора.

Объяснимъ этотъ подсчетъ на примѣрѣ. Аккумуляторъ Тюдоръ заряжался въ теченіе 10,16 часа токомъ въ 5 амперъ. Среднее напряженіе у зажимовъ аккумулятора было при этомъ 2,15 вольтъ. Слѣдовательно, накопленная энергія была

$$10{,}16 \times 2{,}15 \times 5 = 109 \text{ ваттъ-часовъ.}$$

При разряженіи у аккумулятора въ среднемъ было напряженіе въ 1,88 вольтъ, и онъ давалъ токъ въ 6,5 амперъ. Разряженіе продолжалось до тѣхъ поръ, пока только аккумуляторъ могъ производить полезную работу, и длилось 7,35 часа. Слѣдовательно, отданная энергія была

$$7{,}35 \times 1{,}88 \times 6{,}5 = 90 \text{ ваттъ-часовъ.}$$

Отношеніе обѣихъ этихъ величинъ, а именно въ данномъ случаѣ

$$\frac{90{,}0}{109{,}0} = 0{,}826$$

и даетъ полезное дѣйствіе аккумулятора, которое, слѣдовательно, въ нашемъ случаѣ равно 82,6%.

Многочисленныя попытки улучшить аккумуляторы — поднять ихъ полезное дѣйствіе и увеличить срокъ службыи—привели мало по малу къ тому результату, что отъ аккумуляторовъ можно легко и навѣрняка брать отъ 80 до 85 процентовъ затраченной на нихъ работы.

Для срока службы аккумуляторовъ и для ихъ полезнаго дѣйствія вовсе не все равно, заряжать ли и разряжать ихъ слабыми токами или сильными. Благодаря выдѣленію газовъ, кислорода и водорода, при заряженіи образуются: съ одной стороны—перекись свинца, а съ другой—чистый свинецъ. При опредѣленной величинѣ поверхности электродовъ аккумулятора, на нихъ можетъ потребоваться въ опредѣленное время только опредѣленное количество газовъ для химическаго процесса (окисленія или возстановленія). Если газовъ выдѣляется больше, то они уходятъ безполезно. Слѣдовательно, заряжающіе токи не должны быть слишкомъ сильны. Что же касается слабыхъ токовъ, то ими аккумуляторовъ не заряжаютъ, такъ какъ въ такомъ случаѣ для зарядки потребовалось бы слишкомъ много времени. Слѣдовательно, для всякой величины пластинъ существуетъ опредѣленная максимальная сила тока, при которой должно заряжать аккумуляторъ, и которая въ настоящее время всегда дается аккумуляторными фабриками.

Если аккумуляторъ заряжается предписываемой силой тока, то черезъ нѣсколько минутъ отъ начала зарядки онъ пріобрѣтаетъ напряженіе въ 2,09 вольтъ. Напряженіе это въ теченіе приблизительно 6 часовъ остается во время зарядки постояннымъ, а затѣмъ въ теченіе слѣдующихъ 4 часовъ медленно повышается, доходя до 2,34 вольтъ (измѣненіе это происходитъ отъ медленныхъ реакцій въ кислотѣ). При достиженіи этого напряженія зарядку надо прекратить, такъ какъ дальнѣйшее заряженіе будетъ только обусловливать безполезное выдѣленіе газовъ. Если теперь начать разряжать аккумуляторы, то начальное напряженіе при разрядкѣ будетъ въ 1,95 вольтъ. То обстоятельство, что эта величина нѣсколько меньше, чѣмъ достигавшаяся при заряженіи, обусловливается покры-

ваніемъ электродовъ при зарядкѣ слоями водорода и кислорода. Въ первый же моментъ разрядки слои эти нейтрализуются, и появляется меньшее напряженіе. При нормальномъ разряжающемъ токѣ напряженіе это съ 1,95 вольтъ мало по малу въ теченіе 6—7 часовъ падаетъ до величины въ 1,75 вольтъ. Когда аккумуляторъ дошелъ до такого напряженія, его перестаютъ разряжать и заряжаютъ снова.

Аккумуляторы служатъ лучше всего, если производить ихъ зарядку и разрядку при предписанной силѣ тока. Однако разряженіе при болѣе сильномъ токѣ не приноситъ очень большого вреда: не слѣдуетъ только заходить въ этомъ слишкомъ далеко. Короткое замыканіе, т. е. разряженіе при очень сильномъ токѣ, разрушаетъ пластины.

Хотя аккумуляторы представляютъ собою, въ сущности говоря, особаго рода гальваническіе элементы, однако они могутъ служить для возбужденія несравненно болѣе сильныхъ токовъ, чѣмъ послѣдніе. Въ то время, какъ гальваническія батареи требуютъ болѣе или менѣе частой перемѣны пластинъ и жидкостей, такъ какъ и однѣ, и другія подвергаются во время прохожденія черезъ нихъ тока постоянному измѣненію,—въ аккумуляторахъ это не имѣетъ мѣста. И они мѣняются, давая токъ, но измѣненіе ихъ таково, что его можно снова совершенно возстановить слѣдующей новой зарядкой. Аккумуляторы суть въ нѣкоторомъ родѣ обратимыя гальваническія батареи. Поэтому, кромѣ смѣны металловъ и жидкостей, за ними не надо постоянно слѣдить, и не нужно за ними никакого сложнаго ухода. Простое заряженіе ихъ надлежащей силы токомъ дѣлаетъ ихъ готовыми къ употребленію, и только время отъ времени надо пополнять кислоту, слегка разбрызгивающуюся и испаряющуюся.

Аккумуляторы приносятъ большія выгоды всегда и въ тѣхъ случаяхъ, если они могутъ, такъ сказать, перехватывать и накоплять въ себѣ энергію, которая при другихъ обстоятельствахъ пропала бы безцѣльно. Такъ, напр., на фабрикахъ, на которыхъ работаютъ большія паровыя машины, къ нимъ можно, вообще говоря, приключать еще динамо-машину, не требующую отъ двигателя большой потери энергіи. Съ помощью же этой динамо-машины можно заряжать аккумуляторную батарею, которая вечеромъ будетъ служить для доставленія электрическаго свѣта. Такимъ образомъ фабрика освѣщается на счетъ какъ бы потерь силы, происходящихъ въ теченіе дня. Во мно-

гихъ случаяхъ при установкахъ электрическаго освѣщенія бываетъ выгодно содержать при нихъ аккумуляторныя батареи, что въ настоящее время и дѣлается во многихъ частныхъ домахъ. Батарея эта заряжается и вечеромъ даетъ токъ. Если, скажемъ, среди ночи нужна одна лампа, то безъ батареи всю ночь должны были бы работать какъ динамо-машина, такъ и приводящій ее въ дѣйствіе паровой двигатель. Между тѣмъ аккумуляторная батарея, разъ только она заряжена, всегда готова къ употребленію.

Кромѣ того, какъ при отдѣльныхъ электрическихъ установкахъ, аккумуляторы играютъ весьма значительную роль и на электрическихъ центральныхъ станціяхъ. Послѣднія должны быть въ состояніи всегда удовлетворять ежедневному максимальному потребленію тока для освѣщенія. Но это максимальное потребленіе бываетъ, вообще говоря, въ теченіе лишь очень короткаго времени, отъ сумерекъ до 10 часовъ вечера. Только въ это время машина используется вполнѣ. Приключая поэтому къ динамо-машинѣ аккумуляторную батарею, можно пользоваться гораздо меньшей машиной. Днемъ, когда потребленіе свѣта невелико, аккумуляторы заряжаются, а вечеромъ они помогаютъ машинѣ удовлетворять максимуму требованія свѣта. Вотъ почему на центральныхъ станціяхъ и употребляются въ громадномъ большинствѣ случаевъ аккумуляторныя батареи.

Аккумуляторами пробовали также пользоваться и при устройствѣ электрическихъ трамваевъ. Питая ими динамо-машину трамвайнаго вагона, послѣдній заставляютъ везти въ себѣ аккумуляторы. При подобныхъ аккумуляторныхъ трамвайныхъ установкахъ, конечно, нѣтъ никакой надобности въ особыхъ проводахъ. Каждый вагонъ имѣетъ свой источникъ силы, какъ это было и до изобрѣтенія электрическихъ дорогъ. Вся разница только въ томъ, что до сихъ поръ источникъ силы, напр., лошади, находился передъ вагономъ, а теперь аккумуляторы находятся въ самомъ вагонѣ.

Нѣкоторые трамвайные пути въ Берлинѣ, Гамбургѣ, Брюсселѣ, Парижѣ и другихъ городахъ передѣлываются такимъ путемъ очень просто: въ нихъ лошадиная тяга замѣняется электрической. Заряженный предварительно аккумуляторъ, находящійся внутри самого трамвайнаго вагона, приводитъ въ дѣйствіе динамо-машину, которая, со своей стороны, вращаетъ колеса вагона. Если аккумуляторъ по истеченіи нѣсколькихъ часовъ разрядится, его на одной изъ станцій замѣняютъ но-

вымъ. Такъ какъ въ трамваяхъ аккумуляторы подвергаются постояннымъ толчкамъ и сотрясеніямъ, то, во избѣжаніе разбрызгиванія кислоты, ихъ надо плотно закрывать.

Однако аккумуляторы, вообще говоря, не настолько надежны, чтобы вполнѣ удовлетворять услугамъ трамваевъ, предъявляющихъ очень большія требованія. Ихъ содержаніе очень сильно повышаетъ стоимость трамвайныхъ сооруженій. Въ нѣкоторыхъ большихъ городахъ введена смѣшанная система. На окраинныхъ частяхъ города пользуются обыкновенной системой съ надземной проводкой. Внутри же города и вообще на улицахъ, гдѣ провода надъ рельсовымъ путемъ нежелательны, употребляется аккумуляторная тяга. При этомъ вся установка сдѣлана такъ, что если вагонъ идетъ по окраинѣ города, то подходящій къ нему токъ вмѣстѣ съ приведеніемъ въ дѣйствіе двигателя заряжаетъ и аккумуляторы; когда же вагонъ вступаетъ на пути, гдѣ тока нѣтъ, двигатель начинаетъ питаться этими, уже заряженными, аккумуляторами.

Замѣна конской тяги машинною, какъ извѣстно, сдѣлала крупные шаги впередъ и въ обычныхъ способахъ передвиженія, доставивъ самодвижущіяся дрожки, коляски, омнибусы, кареты для перевозки товаровъ и т. п. Большинство такихъ автомобилей приводится въ дѣйствіе бензиновыми и керосиновыми двигателями. Но они имѣютъ и свои недостатки: во первыхъ, они не вполнѣ безопасны; во вторыхъ, они какъ своимъ движеніемъ, такъ и работающими парами производятъ шумъ, который, разъ только дѣйствуетъ долгое время, становится невыносимымъ для самихъ сѣдоковъ; наконецъ они распространяютъ вокругъ себя издающіе скверный запахъ и не очень чистые пары, что особенно замѣтно для пѣшеходовъ. Электрическій автомобиль не представлялъ бы этихъ недостатковъ: электродвигатель вращается самъ собой и не нуждается ни въ какой передачѣ, а кромѣ того при употребленіи электродвигателя и рѣчи не можетъ быть о запахѣ, грязи и опасности. Но для приведенія автомобиля въ дѣйствіе электрическимъ путемъ, его, кромѣ легкаго самого по себѣ двигателя, надо снабдить еще аккумуляторной батареей, представляющей большой, въ полномъ смыслѣ слова тяжеловѣсный недостатокъ электрическаго автомобиля. Однако, несмотря на это, послѣдніе уже конструируются въ настоящее время, и по многимъ причинамъ можно надѣяться, что и въ этомъ отношеніи электричество вытѣснитъ собою всѣ другія силы.

Для приведенія автомобиля въ движеніе электрическимъ путемъ, нужно привести посредствомъ электродвигателя во

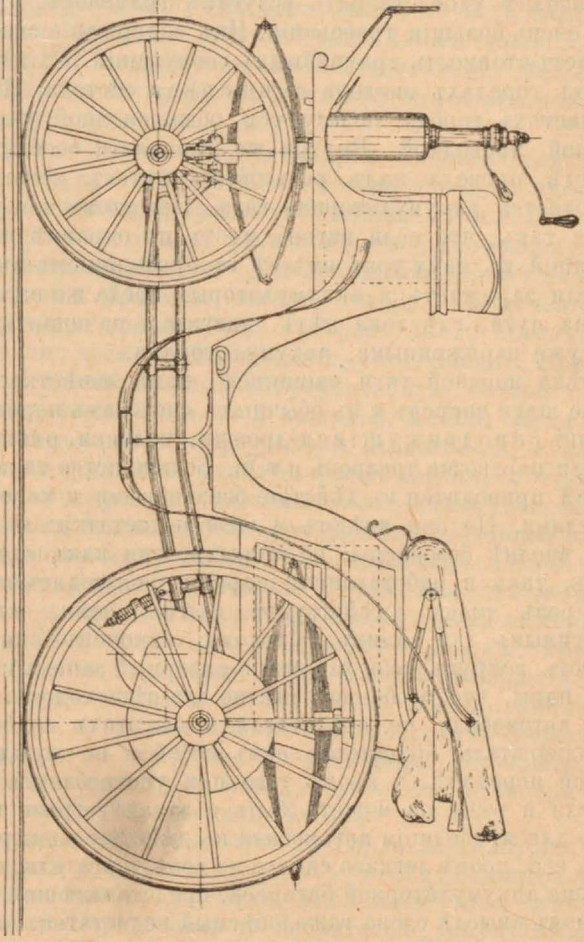


Рис. 142

вращеніе колеса экипажа, а токъ двигателю должна доставлять аккумуляторная батарея. Общій видъ подобнаго экипажа изображенъ на рис. 142. Батарея изъ 44 аккумулято-

ровъ находится въ ящикѣ подъ сидѣньемъ. Вѣсъ вполнѣ снаряженнаго экипажа вмѣстѣ съ сѣдоками равняется 1.100 килограммамъ. Батарея берется такой величины, чтобы ея заряда хватало на 30—40 километровъ пути. Двигатели находятся между задними колесами, которыя и приводятся во вращеніе. Передъ кучеромъ находится, во первыхъ, сильный, приводящійся въ дѣйствіе ногою, тормозъ, а кромѣ того—ручка для поворачиванія экипажа и регулировочное сопротивленіе для пуска его въ ходъ, для измѣненія скорости и для электрическаго затормаживанія; этотъ регуляторъ устроенъ совершенно также, какъ и въ электрическихъ трамваяхъ. Конечно, при устройствѣ такихъ экипажей пользуются послѣднимъ словомъ экипажной техники, чтобы сдѣлать ихъ возможно болѣе легкими и быстрыми. Подобнымъ же образомъ можно устраивать и экипажи большихъ размѣровъ, омнибусы, почтовыя кареты и т. п. Для этого надо только употреблять аккумуляторную батарею соотвѣтственно большихъ размѣровъ.

Само собой разумѣется, что такими автомобилями можно пользоваться только въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ имѣются центральныя электрическія станціи. Онѣ могутъ по истеченіи нѣкотораго времени снова заряжать аккумуляторы, которые устраиваются такъ, что, напр., для изображеннаго выше экипажа $^1/_4$-часовой зарядки достаточно для 10—15 километровъ дальнѣйшаго пути. Для болѣе или менѣе продолжительныхъ поѣздокъ до сихъ поръ этими электрическими автомобилями или, какъ ихъ часто, особенно во Франціи, называютъ—электромобилями, пользоваться нельзя, потому что они не могутъ взять съ собою энергіи, достаточной для большого промежутка времени. Впрочемъ, это неудобство зависитъ исключительно только отъ небольшого пока распространенія центральныхъ электрическихъ станцій. Еслибы можно было разсчитывать на то, что въ каждой деревнѣ найдешь электрическій токъ, что и имѣетъ мѣсто въ нѣкоторыхъ частяхъ Швейцаріи, то на такихъ электромобиляхъ можно было бы предпринимать большія путешествія. Конечно, можно надѣяться, что современемъ дѣло и будетъ обстоять такъ. Для употребленія на электромобиляхъ Эдиссонъ хотѣлъ улучшить аккумуляторы, замѣняя свинцовыя пластинки съ сѣрною кислотою желѣзными и никкелевыми, погруженными въ растворъ ѣдкаго кали. Впрочемъ, подобные аккумуляторы пока еще переживаютъ, повидимому, только стадію лабораторныхъ изслѣдованій.

Не разъ уже поднимался вопросъ о томъ, нельзя ли съ помощью аккумуляторовъ сдѣлать полезными и неравномѣрно дѣйствующія силы природы. Для этого думали воспользоваться силою вѣтра, силою падающаго дождя для приведенія въ движеніе посредствомъ особыхъ приспособленій динамо-машинъ. Динамо-машины могутъ заряжать аккумуляторы, а накопившуюся въ нихъ энергію можно использовать въ любое время. Принципіально подобная идея, представляющая громаднѣйшій шагъ впередъ въ смыслѣ эксплоатаціи силъ природы, совершенно вѣрна; но практически она пока еще не осуществлена, потому что до сихъ поръ нѣтъ того недостатка въ углѣ, который можетъ почувствоваться въ будущемъ.

Накопленіе электричества — не единственное техническое примѣненіе, которое можно извлечь изъ электролиза.

Удивительное свойство электрическаго тока, въ силу котораго онъ при своемъ прохожденіи черезъ растворы металлическихъ солей разлагаетъ ихъ на составныя части, и благодаря которому эти составныя части освобождаются на электродахъ, уже въ 1837 году навело Якоби на мысль воспользоваться этимъ свойствомъ для покрытія тѣлъ металлами. Этимъ онъ далъ толчокъ гальванопластикѣ, искусству осаждать гальваническимъ путемъ на поверхностяхъ тѣлъ металлы, а съ тѣхъ поръ гальванопластика развилась въ довольно значительную отрасль промышленности, область которой все расширяется новыми задачами.

Всякій растворъ какой нибудь металлической соли, напр., мѣднаго купороса, разлагается электрическимъ путемъ, причемъ на отрицательномъ полюсѣ отлагается металлъ, а на положительномъ — остатокъ, содержащій кислоту. Если положительный электродъ сдѣланъ изъ того же самаго металла, который содержится и въ растворенной соли,—слѣдовательно, въ нашемъ случаѣ изъ мѣди,—то на каждый эквивалентъ металла, выдѣлившійся изъ раствора на отрицательномъ электродѣ, съ положительнаго электрода растворится эквивалентъ того же самаго металла, а слѣдовательно, жидкость будетъ все время оставаться одной и той же концентраціи; будетъ происходить только раствореніе металла съ положительнаго электрода и осажденіе того же металла на отрицательномъ.

Такимъ образомъ является возможность покрыть отрицательный электродъ, имѣющій любую форму, слоемъ металла, а смотря по употребляющейся металлической соли можно по-

крыть какой-либо предметъ мѣдью, никкелемъ, золотомъ, оловомъ, платиной или сталью. Однако не всякая соль даннаго металла одинаково удобна для такого гальванопластическаго покрытія его слоемъ; практика показала, что для каждаго металла существуетъ особая наиболѣе подходящая соль. Большое вліяніе на качество металлическаго слоя оказываетъ еще и концентрація растворовъ. Подвергающуюся электролитическому разложенію жидкость называютъ въ гальванопластикѣ ванной.

При всякомъ гальванопластическомъ процессѣ надо выбрать силу тока, подходящую для величины поверхности катода. Для большихъ поверхностей и силы тока должны быть больше, чѣмъ для меньшихъ. Такъ какъ опредѣленный токъ въ каждую секунду осаждаетъ на катодѣ опредѣленное количество металла, то при слишкомъ сильномъ токѣ выдѣляющіяся частицы пристаютъ къ катоду неровно и непрочно, образуя неровныя, грубыя, легко ломающіяся поверхности. Отношеніе силы проходящаго черезъ ванну тока къ величинѣ поверхности катода называется плотностью тока. Она должна быть экспериментальнымъ путемъ выбрана такою, чтобы осажденіе на катодѣ шло возможно лучше.

Если какое нибудь проводящее тѣло, обыкновенно металлическій предметъ, нужно покрыть гальванопластическимъ слоемъ, который долженъ пристать къ нему, то необходимо прежде всего очистить поверхность предмета отъ всякихъ нечистотъ или, какъ говорятъ, декапировать его, что производится или, химически, погруженіемъ тѣла въ кислоты, или механически, скобленіемъ и чисткой щетками.

Затѣмъ покрываемые предметы, напр., ложки, ножи и вилки, опускаются всѣ вмѣстѣ въ ванну, хотя бы въ серебряную, и соединяются между собою всѣ параллельно. Въ качествѣ анода въ ванну погружается серебряная пластинка. Рис. 143 изображаетъ подобную ванну. Въ серединѣ находится цилиндрическій серебряный анодъ. Предназначенные къ серебренію предметы всѣ подвѣшены къ кольцу, соединенному съ отрицательнымъ полюсомъ батареи. Посредствомъ этого кольца всѣ предметы соединяются между собою параллельно.

Для серебренія ванна наполняется растворомъ двойной ціанистой соли серебра и калія, которую берутъ въ надлежащей для наилучшаго серебренія концентраціи. Для этого

въ 1.000 вѣсовыхъ частяхъ воды растворяютъ 12 частей ціанистаго калія и прибавляютъ затѣмъ 46 частей ціанистой соли серебра и калія. Для наилучшаго осажденія серебра требуется такая плотность тока, при которой на квадратный дециметръ приходятся 0,5 ампера.

Для покрыванія мѣдью обыкновенно берется насыщенный растворъ сѣрнокислой мѣди (мѣднаго купороса) или двойной ціанистой соли калія и мѣди. Послѣдняя берется при покрываніи мѣдью желѣзныхъ и цинковыхъ предметовъ. Въ этихъ случаяхъ на 100 литровъ воды берется 1,7 кгрм. соды, 2,5 кгрм. кислаго сѣрнокислаго натрія, 2 кгрм. уксуснокислой мѣди и 2,0 кгрм. ціанистаго калія. Наилучшею плотностью тока оказывается при этомъ 0,4 ампера на квадратный дециметръ; въ ваннѣ же изъ мѣднаго купороса она можетъ быть гораздо больше, доходя даже до 3 амперъ на квадратный дециметръ.

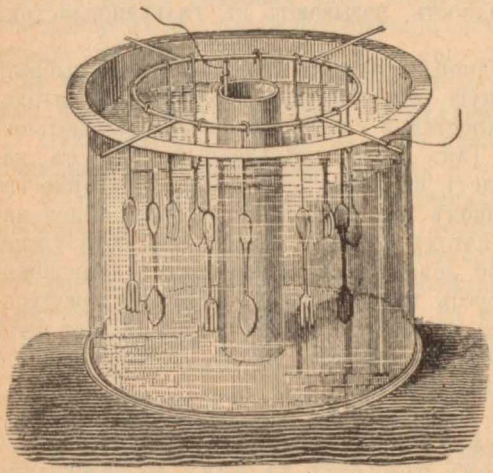


Рис. 143

Для золоченія выгоднѣе всего пользоваться растворомъ двойной ціанистой соли золота и калія. Въ качествѣ наилучшей золотой ванны рекомендуется растворъ, содержащій на 10 литровъ воды: 50 гр. фосфорнокислаго натра, 10 гр. ціанистаго калія, 150 гр. кислаго сѣрнокислаго натрія и 15 гр. хлористаго золота. Ванна должна имѣть температуру въ 50° и потреблять 0,2 ампера на квадратный дециметръ.

Для никкелированія берется ванна, содержащая въ 1 литрѣ 70 гр. двойной сѣрнокислой соли никкеля и аммонія, т. е. насыщенная солью никкеля; кромѣ того, въ ней должно быть 25 гр. сѣрнистаго аммонія и 5 гр. лимонной кислоты.

Плотность тока—отъ 0,5 до 0,8 амперъ на квадратный дециметръ. Никкелированіе особенно важно для желѣзныхъ предметовъ, такъ какъ предохраняетъ ихъ отъ ржавчины. Въ настоящее время очень часто никкелируются и латунные предметы. Для прочнаго покрытія никкелемъ требуется безусловная чистота обрабатываемыхъ поверхностей. Благодаря высокой поляризаціи, для никкелированія требуется большее напряженіе, чѣмъ для другихъ ваннъ, а именно, нужно, чтобы у всякой никкелевой ванны было напряженіе въ 4 вольта.

Для осталеванія пользуются ванной, содержащей на литръ воды 30 гр. желѣзнаго купороса, 30 гр. сѣрномагніевой соли, насыщенныхъ углекислой магнезіей. Плотность тока должна быть только въ 0,2 ампера на квадратный дециметръ. Для осталеванія клише берутъ ванны изъ несодержащаго кислоты раствора двухлористаго желѣза.

Самые ничтожные слѣды жира на тѣлѣ не позволяютъ плотно пристать къ нему гальваническому слою, который легко отпадаетъ отъ покрытой имъ поверхности. За этимъ особенно нужно наблюдать при никкелированіи. Хорошо пристающіе никкелевые осадки могутъ выдѣляться только на абсолютно чистыхъ поверхностяхъ. Предметы, которые надо покрыть гальваническимъ слоемъ, должны быть непремѣнно проводящими, такъ какъ они погружаются въ жидкость въ качествѣ отрицательныхъ электродовъ. Поэтому проще всего получать гальваническіе осадки на металлахъ. Но можно покрывать гальванопластическимъ слоемъ также и непроводящія тѣла, если только сдѣлать проводящей ихъ поверхность, если ихъ металлизировать. Простѣйшимъ и наиболѣе употребительнымъ для этого средствомъ служитъ покрытіе поверхности обрабатываемаго предмета очень тонкимъ слоемъ графита. Такъ, простымъ покрываніемъ поверхности графитною пылью можно сдѣлать проводящими гипсовыя медали и фигуры, а равно и фигуры изъ дерева, алебастра и мрамора. Если нужно, чтобы гальванопластическій слой впослѣдствіи могъ быть легко удаленъ, то щетку, посредствомъ которой натираютъ графитомъ, слегка просаливаютъ жиромъ.

Такимъ образомъ любое тѣло можно покрыть гальванопластическимъ слоемъ, который затѣмъ совсѣмъ нетрудно снять съ покрытаго имъ тѣла. Это послѣднее и представляетъ обыкновенную задачу въ случаѣ неметаллическихъ тѣлъ; желаютъ обыкновенно получить отпечатокъ предмета. Боль-

шею частью и легче всего такіе отпечатки дѣлаются изъ мѣди. Проводящее или металлизированное тѣло, слегка покрытое саломъ, опускается, какъ отрицательный электродъ, въ растворъ сѣрнокислой мѣди; если осадившійся слой достигъ опредѣленной толщины, то его легко просто отнять.

Въ настоящее время для воспроизведенія стальныхъ и деревянныхъ клише почти исключительно употребляется гальванопластическое формованіе. Съ деревяннаго клише нельзя сдѣлать очень много отпечатковъ, не испортивъ его. Поэтому съ такого клише, металлизированнаго графитомъ, дѣлаютъ сколько угодно гальваническихъ слѣпковъ, съ каждаго изъ которыхъ производятъ столько отпечатковъ, сколько онъ можетъ выдержать. При этомъ употребляется токъ плотностью въ 1 амперъ на квадратный дециметръ.

Если пользоваться сильными токами, доставляемыми динамомашинами, то электролитическіе процессы разрѣшаютъ несравненно болѣе важныя и значительныя задачи, чѣмъ тѣ, которыя ставитъ гальванопластика. Въ послѣдніе годы сильно развилась особая отрасль техники, электрохимія. Ея задачею служитъ примѣненіе электрическаго тока къ добыванію дорогихъ химическихъ веществъ—элементовъ и соединеній—изъ болѣе дешевыхъ.

Уже тридцать лѣтъ назадъ творецъ современной электротехники Вернеръ Сименсъ высказался въ томъ смыслѣ, что въ области химическихъ процессовъ электрическому току предстоитъ, повидимому, еще блестящая будущность. «Надо думать, что именно въ этой области,—говорилъ онъ,—электрическій токъ достигнетъ въ будущемъ наибольшихъ результатовъ и окажетъ человѣчеству наибольшія услуги. Технически еще совсѣмъ не воздѣланнымъ является широкое, такъ много обѣщающее поле электролиза огненно-жидкихъ проводниковъ; ни научная, ни техническая химія до сихъ поръ не признали еще аналитической и синтетической силы тока».

Прошло много времени, пока начало осуществляться это предсказаніе, но зато въ послѣдніе годы съ тѣмъ бо̀льшимъ рвеніемъ набросились со всѣхъ сторонъ на разработку именно этой новой отрасли техники; стремленія же эти въ самое короткое время принесли очень цѣнные плоды и со дня на день обѣщаютъ еще новые, совершенно неожиданные успѣхи.

Задачи, которыя можетъ, въ сущности говоря, до сихъ поръ разрѣшать электрохимія, суть слѣдующія:

Во первыхъ, добываніе совершенно чистыхъ металловъ изъ добытыхъ въ шахтахъ сложныхъ продуктовъ, изъ существующихъ въ природѣ и приготовляемыхъ искусственнымъ путемъ ихъ соединеній. Эта задача съ полнымъ успѣхомъ разрѣшена въ смыслѣ добыванія мѣди, золота, алюминія, магнія, олова, мышьяка, сурьмы и нѣкоторыхъ другихъ веществъ. Эту часть электрохиміи весьма цѣлесообразно называютъ *электрометаллургіей*.

Вторая задача состоитъ въ изготовленіи посредствомъ электрическаго тока болѣе дорогихъ соединеній изъ болѣе дешевыхъ. До сихъ поръ это главнымъ образомъ примѣняется для приготовленія соды, хлора, ѣдкаго кали и ѣдкаго натра съ помощью электролиза изъ поваренной соли и хлористаго калія, а равно и для фабрикаціи карбида кальція съ помощью электрической или вольтовой дуги.

Главнѣйшія точки зрѣнія, бросающіяся въ глаза при такихъ электрическихъ или, въ сущности говоря, электролитическихъ процессахъ, становятся понятными изъ слѣдующихъ разсмотрѣній.

Если въ сосудѣ имѣется растворъ нѣкоторой металлической соли, и черезъ такую ванну, имѣющую опредѣленное сопротивленіе, пропускается токъ, то онъ долженъ обладать прежде всего нѣкоторымъ напряженіемъ, необходимымъ для прохожденія тока черезъ сопротивленіе и равнымъ силѣ тока, помноженной на сопротивленіе ванны.

Кромѣ того, при прохожденіи черезъ электролитъ тока постоянно возникаетъ обратная электродвижущая сила, т. е. сила *поляризаціи*; напряженіе проходящаго черезъ электролитъ тока должно, слѣдовательно, преодолѣть и эту поляризацію, т. е., другими словами, все напряженіе тока, который имѣетъ мѣсто при электролизѣ, должно состоять по крайней мѣрѣ изъ суммы:

1) электродвижущей силы поляризаціи и

2) потери напряженія въ сопротивленіи ванны.

Если, напр., пропустить съ помощью платиновыхъ электродовъ токъ черезъ растворъ хлористой мѣди, то образующаяся поляризація имѣетъ электродвижущую силу въ 1,35 вольта. Если сопротивленіе ванны равно 0,5 ома, и черезъ нее проходятъ токи въ 1, 2, 3 ампера, то все напряженіе, имѣющееся у зажимовъ ванны, выразится числами:

1,85; 2,35; 2,85 вольтъ.

Стоимость процесса зависитъ главнымъ образомъ отъ произведенія напряженія, т. е. числа вольтъ, необходимыхъ для электролитическаго процесса, на силу тока въ амперахъ. Поэтому эффектъ тока, т. е. работа, совершаемая токомъ въ секунду въ электролитической ваннѣ, всегда будетъ выражаться такъ:

число вольтъ × число амперъ.

Для выполненія этой работы надо или пустить въ ходъ динамо-машину, или воспользоваться гальваническими элементами, въ которыхъ сгораетъ цинкъ; другими словами, работа производится на счетъ стоимости чего-то другого. Полезная работа при электролитическомъ процессѣ зависитъ отъ числа выдѣлившихся іоновъ, а слѣдовательно, по закону Фарадея, единственно только отъ силы тока. Отсюда ясно, что полезная работа будетъ по отношенію къ затратамъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше необходимое напряженіе.

Итакъ, въ нашихъ рукахъ есть первое слѣдствіе:

Электролитическій процессъ будетъ тѣмъ выгоднѣе, чѣмъ меньше нужное напряженіе тока.

Только что изложенные факты трактуются иногда такими словами: въ техническихъ электролитическихъ процессахъ амперы приносятъ деньги, а ватты стоятъ ихъ.

Итакъ, для экономическаго потребленія надо обратить особенное вниманіе на то, чтобы возможно уменьшить вольты, т. е. напряженіе ванны.

Такъ, если дано сопротивленіе вещества, то необходимое для преодолѣнія сопротивленія ванны напряженіе не мѣняется,—оно равно произведенію потребляющейся силы тока на сопротивленіе,—откуда ясно, что рѣчь сводится главнымъ образомъ къ тому, чтобы уменьшить напряженіе поляризаціи. Отсюда—второе слѣдствіе: При электролитическомъ процессѣ поляризація должна быть сдѣлана возможно меньшею.

Эта цѣль достигается, если позволить іонамъ производить на электродахъ химическіе процессы, содержать химическую работу.

Такъ какъ въ металлургическихъ процессахъ тѣмъ продуктомъ, который желательно получить въ чистомъ видѣ, является катіонъ (металлъ), то весь вопросъ сводится главнымъ образомъ къ тому, чтобы создать химическую работу на анодѣ. На послѣднемъ всегда выдѣляется та составная часть

электролита, которая дѣйствуетъ окисляющимъ образомъ,— напр., SO_4, NO_3 или Cl и т. п. Поэтому слѣдуетъ озаботиться о достаточной работѣ окисленія на анодѣ. Во многихъ случаяхъ это достигается тѣмъ, что въ качествѣ анода помѣщаютъ въ ванну вещество, которое само растворяется подъ дѣйствіемъ аніона и благодаря этому дѣлаетъ возможнымъ образованіе того самаго вещества, которое подвергается электролитическому разложенію. Если, напр., желательно, чтобы изъ ванны выпадала чистая мѣдь, то на анодѣ подвѣшиваютъ мѣдную пластину. Подъ дѣйствіемъ аніона она растворяется. Но можно сперва заставить аніонъ дѣйствовать на электролитическую жидкость, а не на анодъ, который иногда и при этихъ условіяхъ можетъ окисляться.

Подробная бесѣда и даже одно только перечисленіе употребляющихся въ настоящее время электрохимическихъ процессовъ перешли бы за предѣлы нашей небольшой книжки. Поэтому мы ограничимся описаніемъ самаго стараго и дольше всего употребляющагося процесса, а именно добыванія химически чистой мѣди не изъ существующихъ въ природѣ мѣдныхъ рудъ, а изъ такъ называемой черной мѣди, которая получается изъ различныхъ естественныхъ рудъ плавленіемъ въ печахъ. Черная мѣдь состоитъ главнымъ образомъ изъ мѣди, но содержитъ еще примѣси мѣднаго колчедана, сѣрнистаго желѣза, серебра, платины, золота, висмута, олова и др. Является необходимымъ изъ этой нечистой мѣди добыть совершенно чистую—весьма поэтому цѣнную—и въ то же время выдѣлить такія цѣнныя примѣси, какъ серебро и проч.

Съ этою цѣлью изъ черной мѣди отливаются большія, толстыя плиты, которыя и устанавливаются въ ванну, какъ положительные электроды (аноды); ванна наполняется подкисленнымъ растворомъ мѣднаго купороса. Отрицательнымъ электродомъ служитъ тонкая пластина такой же величины, но изъ чистой мѣди. Нечистая мѣдь растворяется въ сѣрной кислотѣ, образующейся при электролитическомъ процессѣ; чистая же выдѣляется на отрицательномъ электродѣ, если выбрана подходящая сила тока. Обыкновенно считаютъ на каждый квадратный метръ по 20—40 амперъ. Примѣси съ положительнаго электрода отчасти уходятъ въ растворъ купороса, отчасти же осаждаются на днѣ. Такимъ образомъ изъ черной мѣди получаются въ ничтожныхъ количествахъ серебро, олово, висмутъ, золото. платина, свинецъ, которые осаждаются въ

шлакѣ и особымъ образомъ могутъ быть выдѣлены оттуда. На плавильнѣ въ Оккерѣ (въ Саксоніи), гдѣ былъ впервые примѣненъ электролитическій способъ очистки мѣди, давно уже получаютъ такимъ образомъ превосходную чистую, такъ называемую электролитическую мѣдь. Въ настоящее время этотъ способъ примѣняется на многихъ мѣдноплавильныхъ заводахъ.

Чѣмъ обильнѣе примѣси у анода, тѣмъ больше электродвижущая сила поляризаціи; поэтому, чѣмъ менѣе чиста мѣдь, тѣмъ большее требуется напряженіе, и тѣмъ менѣе экономичною становится установка.

Напряженіе, необходимое для преодолѣнія поляризаціи при черной мѣди, если растворъ еще киселъ и не очень загрязненъ, равно 0,025 вольтъ. Это напряженіе, конечно, очень мало: мало оно потому, что у анода растворяется мѣдь.

Получаемая такимъ образомъ электролитическая мѣдь передъ употребленіемъ сплавляется, такъ какъ оказывается слишкомъ ломкой и хрупкой вслѣдствіе своей кристаллической структуры. Лишь со введеніемъ электролитическаго способа очищенія мѣди явилась въ продажѣ такъ называемая химически чистая мѣдь, которая во многихъ случаяхъ вытѣснила нечистую, благодаря своимъ превосходнымъ качествамъ: такъ, напр., въ электротехникѣ—благодаря своей особенно хорошей электропроводности.

Мы знаемъ также, что, благодаря электрохиміи, вошелъ въ повсемѣстное употребленіе уже давно извѣстный, но бывшій прежде очень дорогимъ металлъ алюминій. Алюминій представляетъ собою одно изъ самыхъ распространенныхъ на землѣ веществъ, такъ какъ онъ содержится во всякой глинѣ, изъ какового соединенія раньше этотъ металлъ могъ получаться лишь очень сложнымъ, затруднительнымъ путемъ. Въ настоящее же время алюминій получается очень дешево и въ громадныхъ количествахъ, если употреблять весьма сильные токи, напр., въ 7.500 амперъ. Такіе токи получаются въ Нейгаузенѣ отъ большой динамо-машины, приводимой въ движеніе Рейнскимъ водопадомъ. Благодаря своей низкой цѣнѣ, алюминій употребляется теперь для изготовленія множества предметовъ первой необходимости.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

Прохожденіе электричества черезъ газы. Лучи Рентгена и Беккереля

Содержаніе: Свѣтовыя явленія въ разрѣженныхъ газахъ.—Гейслеровы трубки.—Положительный свѣтъ.—Темное пространство. — Круксовы трубки.—Катодные лучи.—Беккерелевы лучи.

Воздухъ и другіе газы служатъ въ области электричества очень совершенными изоляторами. Самый ничтожный, введенный въ цѣпь гальваническаго тока, воздушный промежутокъ препятствуетъ распространенію этого тока. Сопротивленіе воздуха преодолѣвается имъ лишь тогда, если токъ обладаетъ очень сильнымъ напряженіемъ; въ этомъ случаѣ образуется электрическая искра. Эфиръ, имѣющійся въ воздухѣ, производитъ, вообще говоря, впечатлѣніе очень неподатливаго, весьма мало эластичнаго тѣла, поддающагося развѣ только дѣйствію большихъ силъ. Но такою электрическою неподатливостью газы обладаютъ не при всѣхъ обстоятельствахъ. Посредствомъ воздушныхъ насосовъ газы можно произвольно разрѣжать въ нѣкоторомъ пространствѣ, а такіе разрѣженные газы не обнаруживаютъ уже вовсе той электрической неподатливости, какая свойственна имъ при обыкновенномъ давленіи; они допускаютъ теперь очень легко прохожденіе электрическаго движенія и выказываютъ при этомъ цѣлый рядъ замѣчательныхъ и пока еще мало объяснимыхъ явленій. Наука едва переступила въ этой области первую ступень своего развитія; она занимается еще тѣмъ, чтобы точно описать и классифицировать явленія, представляемыя разрѣженными газами, но она можетъ дать только немного законовъ и еще меньше объясненій наблюдаемыхъ фактовъ.

Чтобы пропустить электричество черезъ разрѣженный газъ, нужно въ сосудъ, содержащій этотъ газъ, ввести (впаять или вмазать) двѣ проволоки, которыя можно было бы соединять съ источникомъ электричества. И въ этомъ случаѣ такія проволоки называются электродами; и здѣсь также различаютъ анодъ и катодъ (положительный и отрицательный электроды). На рис. 144 изображена трубка, въ которую впаяны два электрода, и которую черезъ выступъ съ краномъ можно присоединять къ воздушному насосу.

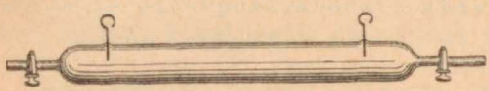


Рис. 144

Если въ подобной трубкѣ разрѣжать понемногу съ помощью воздушнаго насоса воздухъ и соединить электроды трубки со вторичной обмоткой индукціоннаго аппарата или съ электрической машиной, то при достиженіи небольшого давленія, въ 6—8 мм., можно увидѣть между обоими электродами яркую фіолетовую полосу свѣта, которая заполнитъ лишь часть пространства трубки и расположена не по прямой линіи, но дугой, идущей непосредственно отъ одного электрода къ другому. Если давленіе сдѣлать еще меньше, въ 1—3 мм., то такой фіолетовый свѣтъ остается, но только мало по малу заполнитъ все пространство трубки. При болѣе внимательномъ разсмотрѣніи этого свѣта мы увидимъ, что онъ состоитъ изъ слоевъ. Мы видимъ на всемъ протяженіи трубки то свѣтлые, то темные слои, приблизительно въ одинаковомъ другъ отъ друга разстояніи.

Эти трубки, весьма различныя и часто весьма изящныя по формѣ, наполненныя сильно разрѣженнымъ газомъ, впервые появились въ продажѣ у Гейслера въ Боннѣ и называются поэтому гейслеровыми трубками. Если такую трубку изогнуть или искривить, какъ на рис. 145, то разрядъ, фіолетовый свѣтъ, будетъ слѣдовать по всѣмъ изгибамъ трубки, и по нимъ токъ перейдетъ черезъ воздухъ отъ отрицательнаго полюса къ положительному.

При болѣе внимательномъ наблюденіи можно замѣтить, что свѣтящійся разрядъ не распространяется однако сплошнымъ путемъ отъ положительнаго электрода къ отрицательному. Скорѣе можно видѣть, что отрицательный электродъ окруженъ голубоватымъ сіяніемъ, а фіолетовый свѣтъ лишь под-

ходитъ къ этому голубоватому сіянію и отдѣленъ отъ него небольшимъ темнымъ промежуткомъ. Свѣтящійся разрядъ исходитъ, слѣдовательно, изъ положительнаго электрода, но не доходитъ вполнѣ до электрода отрицательнаго. Поэтому такой яркій, въ воздухѣ фіолетовый, а въ другихъ газахъ иначе окрашенный свѣтъ называется положительнымъ свѣтомъ или положительнымъ разрядомъ.

Если же изъ такой трубки продолжать выкачиваніе воз-

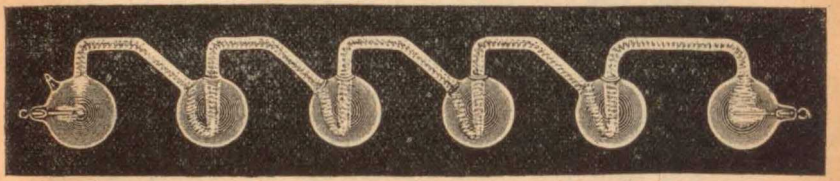


Рис. 145

духа, если, слѣдовательно, доводить ее до гораздо болѣе высокихъ степеней разрѣженія, то явленія становятся другими. Прежде всего они дѣлаются менѣе яркими; кромѣ того, положительный свѣтъ отходитъ отъ анода все меньше и меньше, темное же пространство между катодомъ и положительнымъ свѣтомъ увеличивается. При достаточномъ разрѣженіи можно достигнуть того, что положительный свѣтъ исчезнетъ совершенно, и вся внутренность трубки сдѣлается темной. Съ постепеннымъ же повышеніемъ разрѣженія начинается другое явленіе, какъ это впервые открылъ въ 1869 году Гитторфъ. Оказывается, что стеклянная стѣнка трубки въ томъ мѣстѣ, которое находится противъ катода, начинаетъ свѣтиться ярко-зеленымъ свѣтомъ. Объясняется это тѣмъ, что отъ катода исходятъ невидимые сами по себѣ лучи, заставляющіе всѣ тѣла, на которыя падаютъ, ярко свѣтиться, фосфоресцировать. Эти лучи называются катодными лучами, а трубки, въ которыхъ они наблюдаются, круксовыми или гитторфовыми трубками. Если, слѣдовательно, катодъ лежитъ какъ разъ напротивъ стеклянной стѣнки трубки, то стѣнка эта начинаетъ свѣтиться, она фосфоресцируетъ, причемъ въ нѣмецкихъ стеклахъ фосфоресценція бываетъ зеленая, а въ англійскихъ—голубая. Если въ трубкѣ нарочно укрѣпить какой либо

минералъ, расположивъ его такъ, чтобы онъ находился противъ катода, то и минералъ этотъ фосфоресцируетъ свойственнымъ ему свѣтомъ. Катодные лучи всегда исходятъ по направленію строго перпендикулярному къ катоду, совершенно независимо отъ того, гдѣ находится анодъ. Если поэтому катоду K придать форму вогнутаго зеркала, какъ это показано на рис. 146, то катодные лучи сходятся въ его фокусѣ, а затѣмъ идутъ расходящимся образомъ и возбуждаютъ у S фосфоресценцію стеклянной стѣнки, причемъ совершенно безразлично, сдѣлать ли анодомъ a, a' или a''.

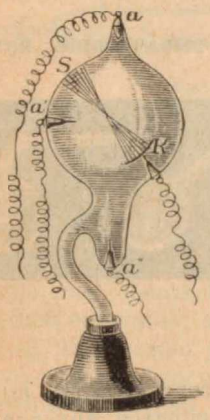


Рис. 146

Катодные лучи уже давно были извѣстны физикамъ, но они не занимались особымъ ихъ изученіемъ, потому что ихъ полученіе, а главнымъ образомъ устройство круксовыхъ трубокъ, было сопряжено съ большими трудностями.

Впервые интересъ къ нимъ проявился тогда, когда безвременно скончавшійся бонискій физикъ Генрихъ Герцъ замѣтилъ, что катодные лучи проходятъ черезъ тонкіе слои металла, а Ленаръ вскорѣ затѣмъ показалъ, что катодные лучи могутъ и выходить черезъ вдѣланное въ стѣнку трубки тонкое металлическое окно изъ разрѣженной трубки въ атмосферу. Ленаръ показалъ, что катодные лучи возбуждаютъ фосфоресценцію и внѣ трубки, и что они дѣйствуютъ на фотографическую пластинку, благодаря чему онъ получалъ снимки съ находящихся на ихъ пути предметовъ. Онъ замѣтилъ также, что катодные лучи бываютъ различнаго рода: такіе, которые задерживаются уже очень тонкими пластинками металла, стекла и т. п., а равно и такіе, которые менѣе поглощаются, а слѣдовательно, и легче проходятъ черезъ постороннія тѣла. Продолжая эти старательныя работы и изучая открытія Ленара, Рентгенъ въ 1896 году сдѣлалъ случайное наблюденіе, которое привлекло къ себѣ вниманіе даже не-физиковъ, потому что тотчасъ же стали видны практическія его примѣненія. Рентгенъ нашелъ, что съ того мѣста стекла круксовой трубки, на которое падаютъ и въ которомъ возбуждаютъ фос-

форесценцію катодные лучи, что съ этого мѣста исходятъ лучи, дѣйствующіе на находящіяся внѣ трубки фотографическія пластинки и возбуждающіе, кромѣ того, какъ и ленаровскіе лучи, свѣченіе (флюоресценцію) лежащихъ внѣ трубки флюоресцирующихъ веществъ. Если круксову трубку обернуть чернымъ картономъ или чернымъ сукномъ и поднести къ тому мѣсту стекла, на которое падаютъ катодные лучи, бумажный картонъ, покрытый сильно флюоресцирующимъ платиново-синеродистымъ баріемъ, то можно замѣтить, что этотъ послѣдній начинаетъ свѣтиться ярко-зеленымъ свѣтомъ. Если поднести точно также къ трубкѣ фотографическую пластинку, то рентгеновскіе лучи дѣйствуютъ и на нее. Если затѣмъ пластинку проявить обычнымъ путемъ, то она оказывается совершенно черной.

Лучи исходятъ отъ того мѣста, на которое падаютъ катодные лучи, отъ стекла ли трубки, или отъ какого нибудь введеннаго въ нее тѣла, которое поставлено такъ, чтобы на него попадали катодные лучи.

Лучи эти, слѣдовательно, во многомъ напоминаютъ лучи Ленара; они обладаютъ только гораздо большею способностью проходить сквозь самыя разнообразныя тѣла, чѣмъ послѣдніе. Они проходятъ черезъ громадное множество не-металлическихъ тѣлъ, черезъ которыя не могутъ проходить обыкновенные свѣтовые лучи; они проходятъ черезъ дерево также легко, какъ обыкновенный свѣтъ проходитъ черезъ стекло. Изъ этого слѣдуетъ, что если ими надо освѣтить фотографическую пластинку, то ее можно смѣло экспонировать, держа въ закрытой деревянной кассетѣ. Совершенно также, какъ дерево, легко-прозрачными являются и другія непрозрачныя тѣла, вродѣ эбонита, каучука, ваты, пробки, угля и графита. Лучи эти проходятъ даже также легко, какъ свѣтъ черезъ стекло, и черезъ алюминій. Тяжелые металлы гораздо менѣе прозрачны, но все же и они не совсѣмъ непрозрачны. Лучи эти проходятъ черезъ очень тонкіе слои желѣза, серебра, золота и мѣди. Свинецъ прозраченъ менѣе всего другого. Вообще можно сказать, что тѣло тѣмъ легче пропускаетъ эти лучи, чѣмъ меньшій у него удѣльный вѣсъ, тѣмъ, слѣдовательно, лучше задерживаетъ ихъ, чѣмъ большею плотностью обладаетъ. Объ оптической прозрачности здѣсь вовсе нѣтъ и рѣчи. Алюминій и стекло, обладающіе почти одинаковою плотностью, одинаково прозрачны для рентгеновскихъ лучей, хотя одно

зъ нихъ вполнѣ прозрачно для свѣта, а другой—совершенно непрозраченъ. Такое дерево, какъ еловое, которое гораздо легче стекла, и лучи эти пропускаетъ много лучше. Различіе

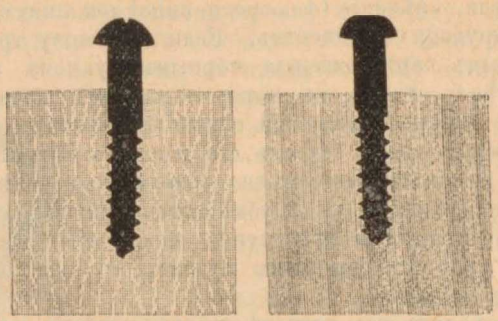


Рис. 147

въ плотностяхъ различныхъ тѣлъ обусловливаетъ и различную ихъ прозрачность. На этомъ основанъ опытъ, который такъ быстро пріобрѣлъ для лучей Рентгена популярность. Благодаря этому свойству можно фотографировать содержимое обернутыхъ или запертыхъ коробокъ, если только это содержимое обладаетъ большею плотностью, чѣмъ стѣнки заключающаго его въ себѣ футляра. Можно фотографировать деньги, лежащія въ закрытомъ портмонэ, ввинченные въ дерево винты, какъ на рис. 147, кости руки, какъ на рис. 148, потому что монеты имѣютъ бо́льшую плотность, чѣмъ кожа, а винтъ и кости менѣе прозрачны, чѣмъ дерево и мясо.

Рис. 148

Тотчасъ вслѣдъ за открытіемъ этихъ лучей, имѣ-

ющихъ громадное медицинское значеніе, стали, конечно, придумывать различныя конструкціи трубокъ и электродовъ, которые были бы наиболѣе цѣлесообразны для фотографическихъ и флюо-

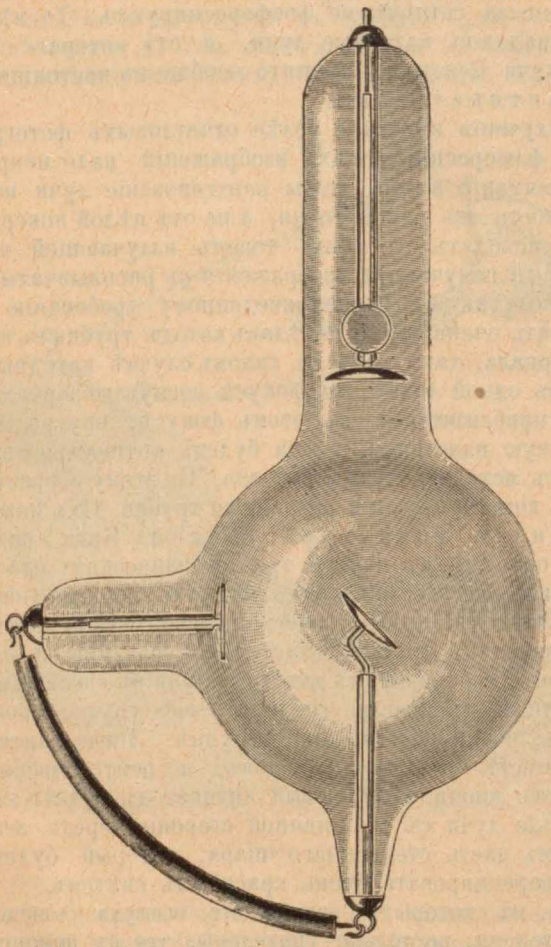


Рис. 149

ресцирующихъ дѣйствій. При этомъ оказалось, что всякое тѣло, на которое попадаютъ катодные лучи, находится ли оно внутри трубки или у ея стѣнокъ, будетъ источникомъ лучей Рентгена. Тѣло

можетъ фосфоресцировать видимыми лучами, что и имѣетъ мѣсто въ стеклѣ стѣнокъ трубки или во вплавленныхъ въ него минералахъ; но можно взять также и металлическія тѣла, которыя видимымъ свѣтомъ не фосфоресцируютъ. То мѣсто, на которое попадаютъ катодные лучи, и отъ котораго поэтому исходятъ лучи Рентгена, принято вообще въ настоящее время называть антикатодомъ.

Для полученія возможно болѣе отчетливыхъ фотографическихъ или флюоресцирующихъ изображеній надо непремѣнно обратить вниманіе на то, чтобы рентгеновскіе лучи исходили по возможности изъ одной точки, а не отъ цѣлой поверхности. Если лучи исходятъ ото всѣхъ точекъ излучающей ихъ поверхности, то получаются изображенія съ расплывчатыми контурами и полутѣнями. Вышеприведенному требованію можно удовлетворить очень просто, сдѣлавъ катодъ трубки въ видѣ вогнутаго зеркала, такъ какъ въ такомъ случаѣ катодные лучи сходятся въ одной точкѣ, въ фокусѣ вогнутаго зеркала. Если помѣстить приблизительно въ этомъ фокусѣ, внутри трубки, металлическую пластинку, то она будетъ антикатодомъ, и отъ нея станутъ исходить лучи Рентгена. По этому образцу почти повсюду и конструируются разрядныя трубки. Ихъ называютъ трубками съ фокальной точкой. Какъ видно на рис. 149, онѣ имѣютъ внутри три металлическихъ пластинки: одна изъ нихъ, изогнутая въ видѣ вогнутаго зеркала (направо), является катодомъ, другая, плоская, (сверху), играетъ роль анода, и наконецъ третья дѣлается изъ платины и служитъ антикатодомъ, собирающимъ катодные лучи въ своей фокальной точкѣ. Антикатодъ полезно соединять внѣ трубки проволокой съ анодомъ, что и показано на рисункѣ. Тогда антикатодъ служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ и анодомъ, и рентгеновскіе лучи исходятъ отъ анода. Платиновый антикатодъ будетъ излучать рентгеновскіе лучи съ освѣщенной стороны черезъ лежащую передъ нимъ часть стекляннаго шара, который будетъ при этомъ фосфоресцировать очень красивымъ свѣтомъ.

Трубки, въ которыхъ разрѣженіе воздуха доведено до крайней степени, настолько дѣятельны, что съ помощью ихъ можно въ короткое время получить фотографическіе снимки черезъ весьма толстыя части тѣла.

Постановка фотографическихъ опытовъ при посредствѣ трубки съ фокальной точкой очень проста. Трубка Т, какъ это видно изъ рис. 150, прочно укрѣпляется въ штативѣ

такимъ образомъ, что антикатодъ отбрасываетъ рентгеновскіе лучи внизъ. Индукціонный аппаратъ B соединяется своими полюсами *ii* съ катодомъ и анодомъ трубки. На столѣ, подъ трубкой, кладется завернутая въ черную бумагу фотографическая пластинка C (она можетъ быть и въ деревянной кассетѣ). Пластинка эта лежитъ чувствительнымъ слоемъ вверхъ.

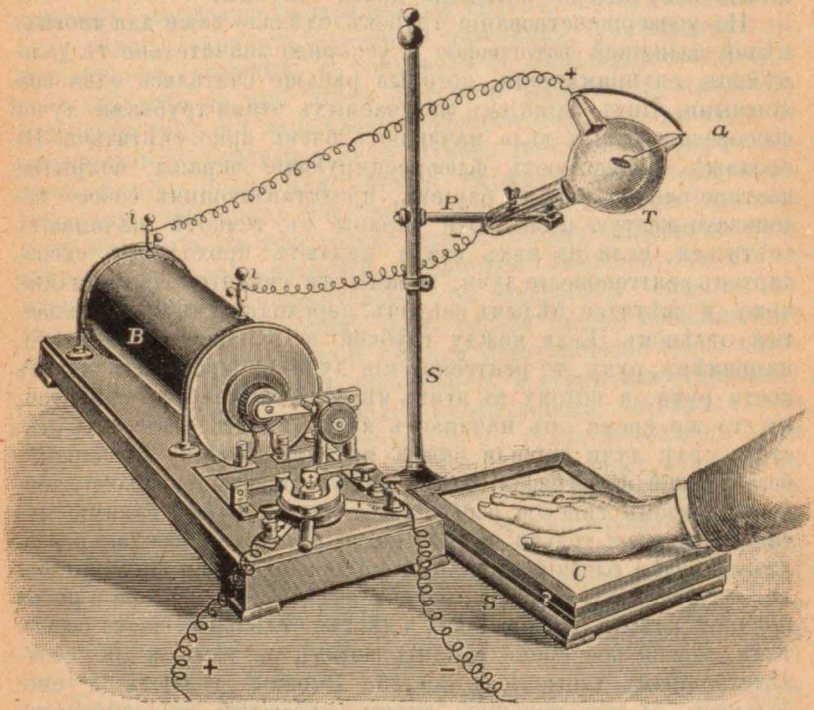


Рис. 150

На бумагу, покрывающую пластинку, накладывается рука, которую надо сфотографировать. Если индукціонный аппаратъ привести въ дѣйствіе, то на пластинку падаютъ лучи, причемъ черезъ прозрачныя части руки, мускулы, они проходятъ лучше, чѣмъ черезъ менѣе прозрачныя, кости и хрящи. Если затѣмъ проявить пластинку при обычномъ красномъ свѣтѣ обыкновеннымъ проявителемъ (амидоломъ, гидрохиноном и пр.),

то кости даютъ свѣтлое изображеніе на темномъ фонѣ. Продолжительность экспозиціи зависитъ отъ качества трубки и отъ силы взятаго искрового индуктора. Вначалѣ для фотографированія костей руки требовалось 5—10 минутъ, теперь же, съ помощью усовершенствованныхъ трубокъ и усовершенствованныхъ прерывателей, фотографическіе съ нихъ снимки можно получать по истеченіи долей секунды.

Но усовершенствованіе трубокъ сдѣлало даже для многихъ цѣлей излишней фотографію и ускорило значительно тѣ дальнѣйшія ея примѣненія, которыя раньше считались едва возможными. Подъ вліяніемъ излучаемыхъ этими трубками лучей флюоресцирующія тѣла начинаютъ очень ярко свѣтиться. Въ продажѣ существуютъ флюоресцирующіе экраны, покрытые платино-синеродистымъ баріемъ, представляющимъ собою зеленовато-желтую пыль. Эти экраны въ темнотѣ начинаютъ свѣтиться, если на нихъ сзади падаютъ проходящіе сквозь картонъ рентгеновскіе лучи; экраны эти свѣтятся чрезвычайно ярко, и свѣтятся бѣлымъ свѣтомъ, переходящимъ въ зеленоватый оттѣнокъ. Если между трубкой и экраномъ помѣстить, напримѣръ, руку, то рентгеновскіе лучи не проходятъ черезъ кости руки, а потому въ этихъ мѣстахъ экранъ и не свѣтится; въ то же время онъ начинаетъ ярко свѣтиться въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ лучи прошли сквозь мышцы. Поэтому на экранѣ, безъ всякой фотографіи, можно видѣть простымъ, невооруженнымъ глазомъ тѣневое изображеніе костей руки. Такимъ путемъ можно не только видѣть кости руки или ноги, но и различать болѣе близкіе къ наружной поверхности и лежащіе болѣе глубоко ихъ покровы; можно видѣть точно также и ребра грудной клѣтки. Поворачивая и двигая отдѣльныя части своего тѣла, можно все время слѣдить вмѣстѣ съ тѣмъ и за соотвѣтственнымъ дзиженіемъ костей. Экраны дѣлаютъ и еще большее: съ ихъ помощью можно наблюдать и внутренніе мягкіе органы, сердце, грудобрюшную преграду и желудокъ. При этомъ можно слѣдить даже за движеніемъ грудобрюшной преграды при дыханіи и за движеніемъ сердца въ его безпрерывной дѣятельности; за всѣмъ этимъ можно слѣдить простымъ глазомъ. Подобнымъ же образомъ этими лучами можно освѣтить и все тѣло.

Намъ хорошо извѣстно, къ какимъ результатамъ приходитъ ежедневно этотъ методъ въ медицинѣ, обнаруживая въ тѣлѣ мѣстонахожденіе разныхъ постороннихъ предметовъ, пуль, иголокъ

разныхъ металлическихъ осколковъ. Однако обнаруженъ также и цѣлый рядъ вредныхъ дѣйствій этихъ излученій, благодаря чему, вслѣдъ за самыми широкими ожиданіями, въ медицинскихъ кругахъ обнаруживается въ настоящее время и нѣсколько скептическое отношеніе къ рентгеновскимъ лучамъ.

Мы еще совсѣмъ не касались одного свойства рентгеновскихъ лучей, состоящаго въ томъ, что они очень быстро разряжаютъ электрически заряженныя тѣла, на которыя падаютъ. Если, напр., зарядить цинковую пластинку, укрѣпленную на стеклянномъ стержнѣ, и соединить ее съ электроскопомъ, и если зарядить ее при этомъ натертой эбонитовой палочкой, благодаря чему она заряжается отрицательно, то при баденіи на пластинку рентгеновскихъ лучей листочки электроскопа очень быстро спадаются, что и служитъ доказательствомъ того, что заряженная пластинка разряжается. Если сдѣлать тотъ же опытъ съ тою только разницею, что цинковая пластинка заряжается натертой стеклянной палочкой, т. е. не отрицательно, а положительно, то подобнаго явленія не наблюдается. Этотъ опытъ какъ нельзя проще показываетъ, что воздухъ, чрезъ который прошли рентгеновскіе лучи, потерялъ свою изолирующую способность и сталъ самъ проводящимъ. Если воздухъ сдѣлался проводящимъ, то зарядъ, конечно, не можетъ уже оставаться на тѣлѣ, а долженъ уйти съ него въ окружающее пространство и въ концѣ концовъ въ землю. Благодаря этому заряженное тѣло сообщается съ землей. Конечно, воздухъ, черезъ который прошли лучи, не такой хорошій проводникъ, какъ мѣдь или хотя бы растворъ какой либо соли; его проводимость еще чрезвычайно ничтожна, но и ея однако достаточно, чтобы очень быстро разрядить заряженныя тѣла, имѣющія напряженія въ сотни и тысячи вольтъ по отношенію къ землѣ.

Какъ сама природа рентгеновскихъ лучей, такъ и причина ихъ возникновенія до сихъ поръ еще не объяснены. Но старанія отыскать эту причину привели, со своей стороны, къ цѣлому ряду новыхъ открытій. Такъ какъ рентгеновскіе лучи исходятъ изъ мѣстъ, на которыя падаютъ лучи катодные, а мѣста эти начинаютъ подъ дѣйствіемъ катодныхъ лучей фосфоресцировать видимымъ или невидимымъ свѣтомъ, то явилось предположеніе, что рентгеновскіе лучи представляютъ собою явленіе, сопровождающее фосфоресценцію. Исходя изъ этой мысли, стали разыскивать, не испускаютъ ли рентгенов-

скихъ лучей и нѣкоторыя другія вещества, фосфоресцирующія подъ дѣйствіемъ обыкновеннаго свѣта. Оказалось, что вообще это не такъ; но одному французскому ученому, а именно Беккерелю, удалось найти нѣкоторое флюоресцирующее тѣло, уранъ, которое, какъ въ чистомъ металлическомъ видѣ, такъ и въ своихъ соляхъ, испускаетъ точно также особые лучи, имѣющіе весьма много сходства съ лучами Рентгена. Лучи эти, называемые въ настоящее время беккерелевыми лучами, обладаютъ подобно рентгеновскимъ лучамъ, способностью проходить черезъ непрозрачныя тѣла, даже и черезъ металлы; они также дѣйствуютъ на фотографическія пластинки, также вызываютъ флюоресценцію и также дѣлаютъ проводящимъ воздухъ, черезъ который проходятъ. Уранъ добывается изъ урановой смоляной руды. Но когда французскій ученый Кюри и его жена обрабатывали химически эту смоляную обманку, то они нашли, что и другія, содержащіяся въ ничтожныхъ количествахъ въ ея массѣ, тѣла испускаютъ подобные же лучи и притомъ въ значительно болѣе сильной степени. Это особенно касается одной баріевой и одной висмутовой соли, которыя хотя и не отличаются совсѣмъ въ химически чистомъ видѣ отъ обыкновенныхъ солей барія и висмута, однако обладаютъ этимъ удивительнымъ свойствомъ испускать такіе лучи.

Вещества эти въ настоящее время называются радіоактивными веществами. Явилось предположеніе, что своею активностью, своею способностью къ излученію эти вещества обладаютъ въ силу того обстоятельства, что они содержатъ въ себѣ въ очень ничтожномъ количествѣ другія тѣла, которыя химически еще не обнаружены, но которыя именно и обладаютъ свойствомъ активности въ чрезвычайно высокой степени. Что касается самихъ этихъ гипотетическихъ веществъ, которыя до сихъ поръ еще не были получены въ чистомъ видѣ, то предполагается, что существуютъ по крайней мѣрѣ еще два такихъ элемента. Одинъ изъ нихъ Кюри назвалъ радіемъ, а другому, въ честь жены своей, польки, далъ названіе полонія.

Радіоактивныя вещества, особенно барій, содержащій въ себѣ радій, испускаютъ столь сильно дѣйствующіе лучи, что весь воздухъ въ комнатѣ, въ которой находятся такія вещества, становится проводящимъ, такъ что въ такомъ пространствѣ нельзя производить никакихъ опытовъ съ электрическими

зарядами. Еслибы радій попадался въ природѣ часто, то свойствъ статическаго электричества совершенно нельзя было бы открыть, потому что никогда нельзя было бы сохранить заряженнымъ ни одного тѣла. Отсюда мы можемъ видѣть, отъ какихъ случайностей зависятъ наши взгляды на природу; мы можемъ предположить отсюда, что то, чего мы еще не знаемъ о природѣ вообще и объ электричествѣ въ частности, гораздо больше того, что намъ о нихъ уже извѣстно.

Это предположеніе подтверждается другими опытами, производившимися въ послѣдніе годы надъ беккерелевыми лучами. Оказалось, что существуетъ не только радіоактивный барій и висмутъ, но и радіоактивный свинецъ; оказалось затѣмъ, что подобными свойствами обладаютъ и соединенія торія (содержащіяся въ колпачкахъ ауэровскихъ горѣлокъ). Однимъ изъ самыхъ удивительныхъ свойствъ этихъ радіоактивныхъ веществъ является то, что они дѣлаютъ радіоактивными бо́льшую часть находящихся вблизи нихъ тѣлъ; они возбуждаютъ въ послѣднихъ такъ называемую индуктированную радіоактивность. Дѣло обстоитъ такъ, какъ еслибы отъ радіоактивныхъ веществъ исходило нѣкоторое другое вещество, которое осаждается на находящихся вблизи него тѣлахъ и дѣлаетъ самихъ ихъ радіоактивными. Что касается торія, то уже доказано, что отъ него исходитъ такая активная эманація, которую можно сдуть воздушнымъ потокомъ. Всѣ эти явленія еще очень загадочны и полны противорѣчій, но они, повидимому, показываютъ, что за извѣстною намъ доселѣ областью природы лежитъ еще совершенно неизвѣстная, первыя очертанія которой мы только теперь начинаемъ различать.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

Электрическія колебанія

Содержаніе: Колебанія при разрядѣ черезъ искру.—Вибраторъ Герца.—Очень быстрыя колебанія.—Скорость распространенія электрическихъ движеній.—Когереръ.—Электрически-оптическіе опыты.—Электрическіе лучи.—Телеграфія безъ проводовъ.—Волны большой энергіи.—Проводники и непроводники.—Заключеніе.

Электрическая искра представляетъ собою одно изъ очень давно уже извѣстныхъ явленій и въ то же время такое, которое понятно менѣе какихъ либо другихъ. Если между двумя заряженными проводниками находится воздухъ, то онъ представляетъ чрезвычайно большое сопротивленіе для уравниванія этихъ зарядовъ; но если напряженіе между обоими проводниками велико, то эфиръ воздуха какъ бы разрывается, и между проводниками проскакиваетъ электрическая искра. Въ упругомъ эфирѣ воздуха преодолѣваніе сопротивленія, какъ и во всякомъ упругомъ сопротивленіи, происходитъ періодически. Если мы разламываемъ, раздавливаемъ какое либо тѣло; если мы продуваемъ при свистѣ воздухъ черезъ полуоткрытый ротъ, то мы всегда слышимъ звукъ,—другими словами, у насъ всегда въ такихъ случаяхъ имѣются періодическія движенія, обусловливаемыя преодолѣваніемъ упругаго сопротивленія. Точно также и электрическая искра, съ помощью которой преодолѣвается сопротивленіе находящагося въ воздухѣ эфира, есть, какъ это впервые показалъ Феддерсенъ, періодическое явленіе, и притомъ чрезвычайно быстрое. Въ искрѣ электрическія или упругія смѣщенія взадъ и впередъ эфира происходятъ съ такою скоростью, что еслибы только искра могла вообще продержаться въ теченіе одной секунды, то такихъ движеній было бы въ эту секунду отъ одного до ста милліоновъ. Такія чрезвычайно быстрыя попеременныя

электрическія движенія называются электрическими колебаніями или вибраціями. Съ помощью очень простого прибора, такъ называемаго вращающагося зеркала, можно убѣдиться въ существованіи такихъ колебаній; можно убѣдиться съ помощью того же прибора и въ томъ, какъ громадно число колебаній въ секунду, и какъ крайне мала продолжительность отдѣльнаго колебанія. Пользуясь вращающимся зеркаломъ, можно произвести и нѣкоторыя измѣренія. Если зеркало поставить какъ разъ противъ того мѣста, въ которомъ возникаетъ искра, и если начать это зеркало вращать вокругъ нѣкоторой оси, то оно, въ теченіе короткаго времени существованія искры, повернется на нѣкоторый уголъ, который будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость вращенія зеркала. Такъ какъ зеркало всегда отбрасываетъ отъ себя лучъ подъ такимъ же угломъ, подъ какимъ онъ падаетъ на него, то понятно, что изображеніе искры при этомъ увидишь въ видѣ нѣкоторой свѣтовой ленты, которая будетъ тѣмъ длиннѣе, чѣмъ больше разстояніе между искрой и зеркаломъ. Картина, которую дастъ искра, будетъ имѣть видъ, изображенный на рис. 151. Изъ фотографическаго снимка подобной свѣтовой ленты можно видѣть, что въ ней находится рядъ свѣтлыхъ мѣстъ съ темными промежуточными пространствами. Въ этомъ можно усмотрѣть доказательство того, что разрядъ періодически то прекращается, то возникаетъ снова,—короче говоря, что существуютъ вибраціи. Если извѣстны скорость вращенія зеркала и разстояніе отъ него искры, то можно затѣмъ по длинѣ всей свѣтовой ленты вычислить и продолжительность существованія искры. Если, напр., разстояніе искры отъ зеркала 1 метръ, а искра существуетъ въ продолженіе одной секунды, то при 500 полныхъ оборотахъ зеркала въ секунду искра дала бы изображеніе въ видѣ полосы свѣта, которою можно было бы обернуть кругъ радіусомъ въ 1 метръ 1.000 разъ; такъ какъ свѣтъ отражается отъ зеркала подъ тѣмъ же самымъ угломъ, подъ которымъ на него падаетъ, то отбрасываемое зеркаломъ изображеніе движется вдвое скорѣе, чѣмъ само зеркало. Если искра существуетъ не секунду, а всего $^1/_{10000}$ секунды, то и свѣтовая лента дастъ только десятитысячную часть длины. Что касается нашего примѣра, то

Рис. 151

въ первомъ случаѣ длина приблизительно будетъ $3 \times 1000 = 3.000$ м., а во второмъ—приблизительно 0,3 м. $= 30$ см. И обратно: по длинѣ свѣтовой ленты можно вычислить продолжительность существованія искры. На изображаемомъ рисункѣ продолжительность искры около $^1/_{70000}$ секунды. Такъ какъ простое пересчитываніе темныхъ и свѣтлыхъ промежутковъ даетъ намъ во всей искрѣ 13 колебаній, то продолжительность отдѣльнаго колебанія составляетъ едва-едва одну милліонную долю секунды.

Какъ свистъ производитъ тѣмъ болѣе быстрыя колебанія, издаетъ тѣмъ болѣе высокіе звуки, чѣмъ онъ короче, чѣмъ, слѣдовательно, меньше масса приходящаго въ движеніе воздуха, такъ и при искровомъ разрядѣ колебанія тѣмъ быстрѣе, а періодъ

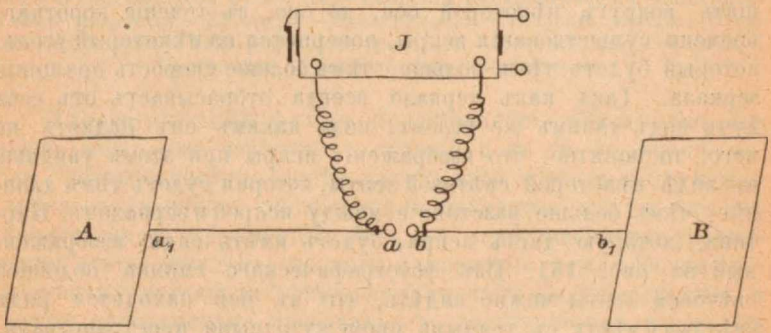


Рис. 152

ихъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше количество приходящаго въ движеніе эфира. Поэтому, если разряжать искрой большія лейденскія банки, то онѣ даютъ болѣе медленныя колебанія, чѣмъ малыя банки, а самыя быстрыя колебанія происходятъ въ томъ случаѣ, если искру заставлять проскакивать между тѣлами, обладающими весьма ничтожною емкостью.

Такія очень быстрыя колебанія впервые были получены въ Боннѣ г. Герцомъ. Этого онъ добился тѣмъ, что заставлялъ искру проскакивать между поставленными другъ противъ друга двумя проволоками, изображенными на рис. 152 буквами aa_1 и bb_1, изъ которыхъ каждая была соединена съ пластиной A или B. Посредствомъ проволокъ онъ соединялъ вторичные полюсы индукціоннаго аппарата J съ обоими прямолинейными

проводниками aa_1 и bb_1, благодаря чему между обоими шариками a и b проскакивали отдѣльныя разрядныя искры. Но и здѣсь также всякая отдѣльная разрядная искра, такъ сказать, колебательна; и здѣсь разрядъ опять таки переходитъ въ колебанія, а такъ какъ емкость этихъ прямолинейныхъ проводниковъ очень мала, то очень малъ при этомъ и періодъ колебанія этихъ вибрацій. Чтобы не получать ужъ слишкомъ малыхъ періодовъ колебанія, онъ увеличивалъ емкость прямыхъ проволокъ aa_1 и bb_1, соединяя ихъ съ металлическими пластинами A и B или же съ металлическими шарами нѣсколько бо̀льшихъ размѣровъ, чѣмъ тѣ, между которыми проскакивала искра. Происходящій въ такомъ приборѣ при разрядахъ процессъ надо представить себѣ слѣдующимъ образомъ. При всякомъ отдѣльномъ размыканіи первичнаго тока въ J возникаетъ индукціонный импульсъ, который заряжаетъ проводникъ aa_1A, напр., положительно, а проводникъ bb_1B— отрицательно. Оба эти противоположныя электричества тотчасъ же уравниваются черезъ находящійся между a и b слой воздуха, но уравниваніе это происходитъ колебательно, такъ что какъ въ прямолинейныхъ проводникахъ A и B, такъ и въ отдѣляющемъ ихъ воздушномъ слоѣ происходятъ прямолинейныя колебанія. Вибраціи эти, слѣдующія другъ за другомъ черезъ стомилліонную часть секунды, происходятъ при каждой отдѣльной искрѣ. Одинъ рядъ колебаній совершенно исчезнетъ уже, когда при новомъ размыканіи первичной катушки къ a и b пройдетъ второй индукціонный импульсъ. Послѣдній снова заряжаетъ A и B, снова происходитъ колебательный разрядъ, и т. д.

Эти весьма быстрыя колебанія пріобрѣли чрезвычайно важное значеніе благодаря примѣненіямъ, которыя извлекъ изъ нихъ Герцъ, и съ помощью которыхъ онъ весьма существенно расширилъ область электричества.

Уже давно поднимался вопросъ о томъ, требуется ли нѣкоторое опредѣленное, измѣримое время для передачи индукціонныхъ силъ отъ первичной цѣпи P черезъ воздухъ ко вторичной цѣпи S,—иначе говоря, имѣютъ ли индукціонныя дѣйствія измѣримую скорость распространенія?

Такъ какъ весьма вѣроятно, что электрическія дѣйствія основываются на какомъ-то дѣйствіи эфира, какъ мы не разъ принимали это въ нашей книгѣ, то, сдѣлавъ такое предположеніе, вполнѣ естественно предположить также и нѣкото-

рую конечную скорость распространенія; если свѣтовой эфиръ есть дѣйствительно та среда, которая обусловливаетъ собою электрическія явленія, то слѣдуетъ даже ожидать, что эта скорость равна скорости свѣта, то есть составляетъ 300.000 километровъ въ секунду. Благодаря полученнымъ Герцомъ быстрымъ колебаніямъ, мы имѣемъ возможность изслѣдовать этотъ вопросъ экспериментально. Если въ такомъ колебаніи электрическое движеніе продолжается сто-милліонную долю секунды, то, пока колебаніе совершитъ свой полный циклъ, движеніе это распространится всего лишь на три метра; а это—такое разстояніе, на которомъ явленіе прослѣдить не трудно. И дѣйствительно Герцу удалось точно прослѣдить распространеніе такихъ быстрыхъ колебаній въ окружающемъ ихъ воздушномъ пространствѣ и измѣрить скорость ихъ распространенія; онъ дѣйствительно нашелъ, что скорость эта равна скорости свѣта. Электрическія движенія, исходящія отъ герцовскаго вибратора, создаютъ въ эфирѣ воздуха рядъ волновыхъ движеній совершенно того же рода, какъ и свѣтовыя волны. Если мы зажжемъ гдѣ либо въ пространствѣ спичку, т. е. вызовемъ явленіе свѣта, то обусловливаемое этимъ свѣтомъ движеніе распространится во всѣ стороны по свѣтовому эфиру въ видѣ волнъ, подобныхъ водянымъ волнамъ, создаваемымъ брошеннымъ на поверхность воды камнемъ. Что касается нашего электрическаго случая, то въ немъ герцовскій проводникъ замѣняетъ собою горящую спичку; отъ него распространяется во всѣ стороны въ пространствѣ на подобіе волнъ движеніе, созданное искровымъ колебательнымъ разрядомъ и распространяющееся съ тою же самою скоростью, какъ и волны свѣта. Эфирныя волны, дѣйствующія на нашъ глазъ, имѣютъ длины, которыя составляютъ, смотря по цвѣту, 4—7,5 десятитысячныхъ миллиметра. Что касается болѣе длинныхъ волнъ, въ 30—50 тысячныхъ миллиметра, то онѣ еще дѣйствуютъ на чувствительные приборы термически Электрическія волны, создаваемыя герцовскимъ вибраторомъ, несравненно больше, и длина ихъ составляетъ нѣсколько сантиметровъ или метровъ. На основаніи опытовъ Герца можно сказать, что электрическія волны очень малаго періода колебанія являются для насъ свѣтовыми волнами, или—что свѣтовыхъ волнъ относительно большого періода колебанія мы не ощущаемъ, какъ свѣтъ, но онѣ выказываютъ свои электрическія дѣйствія.

Если же это правильно, то электрическими волнами можно, значитъ, вызывать совершенно такія же явленія, какъ и свѣтовыми. Герцъ доказалъ экспериментальнымъ путемъ возможность и этихъ дальнѣйшихъ слѣдствій. Его опыты, которые въ то время были очень трудными и требовали весьма сложныхъ приспособленій, теперь, какъ нельзя лучше воспроизводятся относительно очень простыми средствами. Французъ Бранли открылъ одно явленіе, съ помощью котораго можно очень легко и просто обнаружить самыя слабыя электрическія коле-

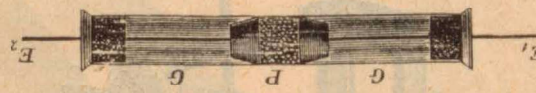


Рис. 153

банія, исходящія отъ искрового пространства. Бранли насыпалъ въ стеклянную трубку G грубыхъ металлическихъ опилокъ и ввелъ въ нее два соприкасавшіеся съ металлическою пылью электрода, какъ это показано на рис. 153. Такъ какъ контактъ между отдѣльными металлическими частицами очень плохой, то такая система имѣетъ чрезвычайно большое сопротивленіе, измѣряющееся сотнями тысячъ омовъ. Чрезъ такую трубку отъ гальваническаго элемента проходитъ токъ лишь очень небольшой силы. Но лишь только на эту трубку упадетъ электрическая волна, какъ между отдѣльными металлическими частицами появляются очень маленькія невидимыя искорки, соединяющія между собою поверхности двухъ смежныхъ металлическихъ опилокъ. Благодаря этому контактъ между ними тотчасъ же становится хорошимъ, а сопротивленіе трубки сейчасъ же падаетъ до небольшой величины въ 5 или 10 омъ. Тотъ самый гальваническій элементъ, который раньше едва пропускалъ черезъ трубку токъ, теперь образуетъ въ ней поэтому токъ очень большой силы. Въ этомъ и состояло открытіе Бранли.

Такая трубка съ металлическою пылью, слѣдовательно, является очень чувствительнымъ реагентомъ по отношенію къ электрическимъ волнамъ. Подобный приборъ называется когереромъ. Для примѣненія когерера составляютъ цѣпь изъ элемента, когерера и гальваноскопа. Пока пыль въ когерерѣ остается нерушимой, стрѣлка гальваноскопа не даетъ никакого

отклоненія; но стоитъ только электрическимъ волнамъ упасть на когереръ—и черезъ него начинаетъ проходить токъ, а гальваноскопъ отклоняется. Разъ только волны упали на когереръ, онъ начинаетъ представлять собою небольшое сопротивленіе, которое, конечно, сохраняется и тогда, когда волны перестали уже дѣйствовать. Въ такомъ случаѣ нужно только встряхнуть трубку легкимъ ударомъ, и частицы располагаются попрежнему, а сопротивленіе снова становится большимъ; когереръ

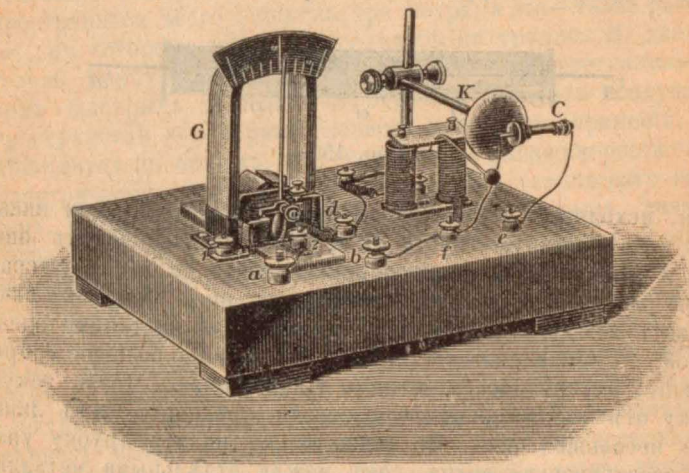


Рис. 154

опять начинаетъ дѣйствовать. Удары по когереру очень выгодно производить съ помощью особаго приспособленія. Лишь только стрѣлка гальваноскопа отклонилась, токъ отъ элемента идетъ черезъ электрическій звонокъ, язычокъ котораго ударяетъ по когереру, благодаря чему сопротивленіе послѣдняго снова становится большимъ. Устроенный подобнымъ образомъ приборъ изображенъ на рис. 154, на которомъ C представляетъ собою когереръ, K—звонокъ и G—гальваноскопъ.

Вооружившись такимъ когереромъ, можно легко произвести слѣдующіе опыты, которые показываютъ, что отъ искры распространяются электрическія волны, совершенно схожія съ волнами свѣтовыми. Прежде всего можно видѣть, что когереръ дѣйствуетъ (т. е. гальваноскопъ даетъ отклоненіе, а ко-

локольчикъ звонитъ) даже и въ томъ случаѣ, если онъ отстоитъ отъ искры на 5, 10, 20 метровъ; для этого вовсе не нужно между искрой и когереромъ какого либо проволочнаго соединенія. Отсюда слѣдуетъ, что электрическія волны, исходящія отъ искры, распространяются въ пространствѣ точно также, какъ и волны свѣтовыя. Такъ какъ электрическія волны имѣютъ большую длину, въ нѣсколько сантиметровъ, то въ этомъ отношеніи онѣ нѣсколько напоминаютъ собою звуковыя волны,

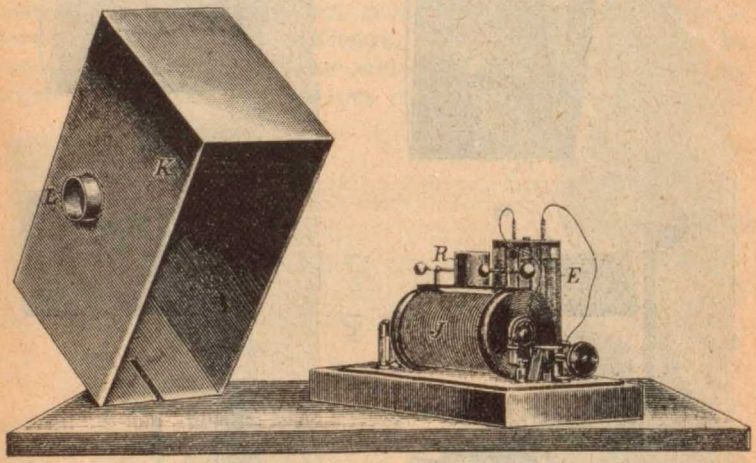


Рис. 155

длина которыхъ также велика. Совершенно какъ звуковыя, электрическія волны загибаютъ за углы, что не имѣетъ мѣста въ небольшихъ свѣтовыхъ волнахъ. Поэтому, чтобы имѣть электрическія волны не во всей комнатѣ, въ которой производятся опыты, а лишь въ опредѣленномъ направленіи, весь производящій искры приборъ помѣщаютъ въ закрытый со всѣхъ сторонъ металлическій ящикъ, изображенный на рис. 155. Чтобы видѣть индукціонный аппаратъ, элементъ и приборъ R, между шариками котораго образуются искры, нужно поднять металлическую покрышку, на одномъ изъ боковъ которой находится круглое отверстіе. Если металлическимъ ящикомъ закрыть J, E, R, а когереръ расположить такимъ образомъ, чтобы на него могли попадать выходящіе изъ

отверстія лучи, то звонокъ когерера тотчасъ же начинаетъ звонить. Если между ящикомъ и когереромъ помѣстить пластинку изъ стекла, дерева, парафина или сѣры, то такая пла-

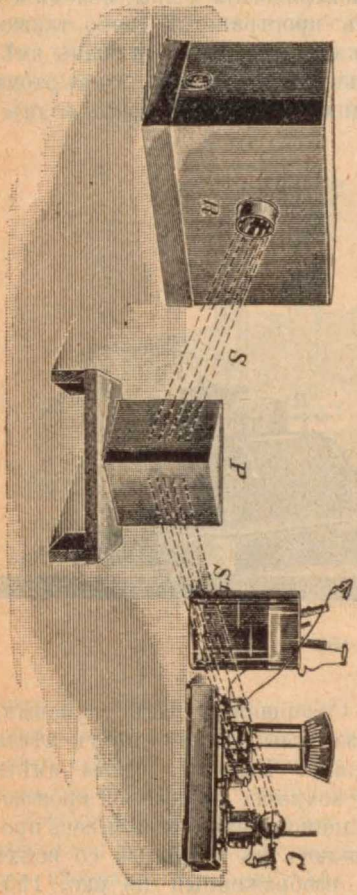


Рис. 157.

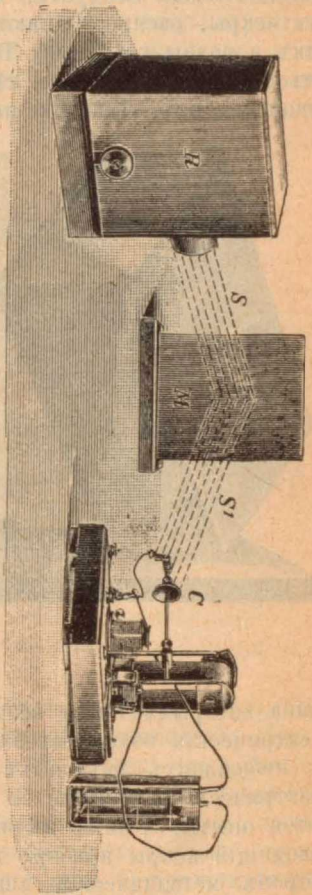


Рис. 156.

стинка нисколько не помѣшаетъ распространенію волнъ. Сквозь эти изоляторы колебанія проходятъ. Волны отъ ящика къ когереру можно направить изъ одной комнаты въ другую черезъ запертую дверь. Но если между искрой и когереромъ расположить металлическую пластинку, то когереръ не дѣй-

ствуетъ,—волны задерживаются металломъ: металлъ для электрическихъ волнъ непрозраченъ. Если же металлическую пластинку помѣстить вкось по отношенію къ исходящимъ отъ искры волнамъ, напр., подъ угломъ 45°, то волны отражаются. Если поэтому когереръ расположить такимъ образомъ, чтобы на него попадали не непосредственныя волны, а лишь отраженныя отъ металлической пластинки, то онъ снова начинаетъ дѣйствовать. Итакъ, электрическія волны отражаются совершенно также, какъ и свѣтовыя. Слѣдовательно, должна быть возможность концентрировать вогнутымъ зеркаломъ и электрическія волны, какъ и свѣтовыя, что и было выполнено на самомъ дѣлѣ Герцомъ. Если затѣмъ прошедшій черезъ призму свѣтовой лучъ отклоняется отъ своего направленія, то то же

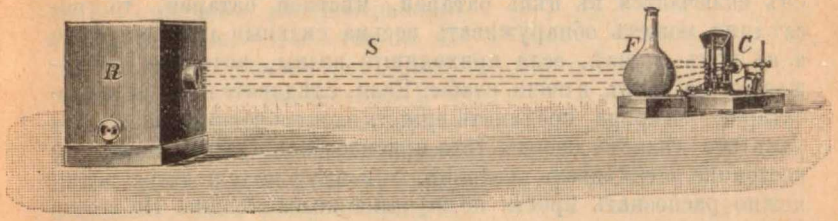


Рис. 158

имѣетъ мѣсто и въ электрическихъ лучахъ, выходящихъ изъ нашего ящика. Изображенная на рис. 157 парафиновая призма отклоняетъ электрическій лучъ, преломляетъ его, о чемъ можно судить по положенію, занимаемому за призмою, когерера при томъ условіи, чтобы на него оказывалъ вліяніе прошедшій сквозь призму электрическій лучъ. Слѣдовательно, стеклянными, парафиновыми и деревянными чечевицами можно электрическія волны концентрировать въ одной точкѣ совершенно также, какъ и свѣтовыя. Если, какъ на рис. 158, когереръ настолько отодвинуть отъ ящика, чтобы на него уже не вліяли электрическіе лучи, то онъ тотчасъ же снова начинаетъ дѣйствовать, лишь только передъ нимъ поставить наполненную керосиномъ стклянку F. Послѣдняя играетъ роль чечевицы, концентрирующей волны на когерерѣ. Доказываемая этими опытами аналогія, однородность этихъ электрическихъ явленій съ явленіями свѣтовыми идетъ еще гораздо дальше, до самыхъ мельчайшихъ подробностей. Но мы здѣсь ограничимся лишь тѣмъ, что только что изложили.

Эти герцовскія волны, значеніе которыхъ такъ велико въ смыслѣ расширенія нашихъ познаній по электричеству, получили, кромѣ того, и весьма замѣчательное практическое примѣненіе: мы говоримъ о безпроволочномъ телеграфѣ. И дѣйствительно: когереръ реагируетъ на электрическія волны, распространяющіяся по направленію къ нему черезъ эфиръ воздуха безъ всякихъ проводовъ. Весь вопросъ, значитъ, сводился лишь къ возможному усиленію какъ этихъ волнъ, такъ и чувствительности когерера, дабы имѣть возможность передавать такимъ образомъ на далекія разстоянія телеграфическіе знаки.

При этомъ когереру придается весьма удобная форма, благодаря которой онъ дѣйствуетъ просто какъ реле. Такъ какъ онъ включается въ цѣпь батареи, мѣстной батареи, то послѣдняя можетъ обнаруживать весьма сильныя дѣйствія даже и въ томъ случаѣ, если приходящія волны, которыми разряжается когереръ, и очень слабы. Если, слѣдовательно, мѣстную батарею когерера соединить еще съ электрическимъ звонкомъ, какъ это дѣлаетъ сверхъ того приспособленіе, которое должно постоянно встряхивать когереръ, то всякую подошедшую волну можно распознать просто по звучанію колокольчика. Но можно также присоединить параллельно со звонкомъ еще и пишущій телеграфъ Морза. Тогда подъ вліяніемъ всякой подошедшей волны когереръ становится проводящимъ, а мѣстная батарея возбуждаетъ электромагнитъ аппарата Морза вмѣстѣ со звонкомъ,—и штифтъ аппарата отмѣчаетъ соотвѣтствующій знакъ на бумажной лентѣ. Если, слѣдовательно, образуя на станціи отправленія только одну искру, послать съ нея короткую волну, то аппаратъ Морза напишетъ точку. А если на станціи отправленія замкнуть индукціонный аппаратъ на болѣе продолжительное время, то образуется цѣлый рядъ слѣдующихъ другъ за другомъ искръ, волны которыхъ падаютъ на когереръ и приводятъ звонокъ въ движеніе въ теченіе большого промежутка времени, благодаря чему аппаратъ Морза напишетъ рядъ быстро слѣдующихъ другъ за другомъ точекъ. Такимъ образомъ на отдаленной станціи получаются, слѣдовательно, точки или рядъ точекъ (вмѣсто линій), а потому безъ проводовъ можно телеграфировать и обычнымъ алфавитомъ Морза.

Особое для производства этихъ опытовъ приспособленіе изображено на рис. 159. На станціи I имѣется (внизу) батарея

A, соединяющаяся при посредствѣ морзовскаго ключа T съ зажимами первичной обмотки индукціоннаго аппарата J. Вторичные полюсы послѣдняго *c* и *d* ведутъ къ искровому промежутку R, состоящему изъ четырехъ шариковъ 1, 2, 3 и 4. Внутренніе шарики, 2 и 3, находятся въ керосинѣ. При всякомъ нажатіи ключа между 1, 3, 4 и 2 возникаютъ искры, причемъ дѣйствующими искрами являются тѣ, которыя проскакиваютъ между 3 и 4. Искры эти приводятъ въ колебаніе окружающій эфиръ, а колебанія распространяются волнообразно все далѣе и далѣе, причемъ распространеніе ихъ шаровидно. На станціи II (вверху) находится когереръ C, который вмѣстѣ съ элементомъ B и чувствительнымъ релэ K помѣщается въ цѣпи тока. Лишь только когереръ становится проводящимъ, какъ релэ начинаетъ дѣйствовать и замыкаетъ мѣстный токъ, въ цѣпи котораго находятся батарея D, звонокъ *K* и включенный параллельно съ ними аппаратъ Морза Schr, сейчасъ же начинающіе дѣйствовать. Колокольчикъ ударяетъ по когереру, чтобы вслѣдъ за каждой волной сейчасъ же опять сдѣлать его годнымъ къ употребленію, а аппаратъ Морза даетъ при каждомъ отдѣльномъ нажатіи ключа въ I точку и при каждомъ болѣе продолжительномъ нажиманіи этого ключа—рядъ точекъ, которыя при надлежащей скорости движенія аппарата Морза сливаются въ штрихъ.

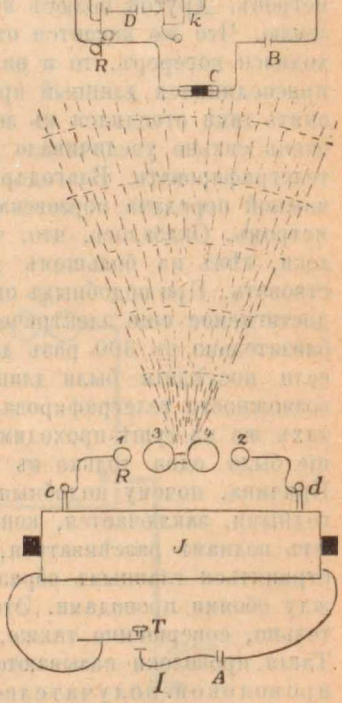


Рис. 159

Пользуясь такими приборами, знаки можно передавать на относительно незначительное разстояніе, которое при благопріятныхъ условіяхъ можетъ равняться едва лишь 100 ме-

трамъ, что, конечно, для практическихъ цѣлей совершенно неудовлетворительно. Но итальянскій инженеръ Маркони, которому впервые пришла мысль о примѣненіи этого метода къ телеграфированію безъ проводовъ, ввелъ сюда одно измѣненіе, которое оказалось очень выгоднымъ. Онъ установилъ на первой станціи, на которой получались искры, длинную проволоку. Проволока эта шла кверху отъ одного изъ полюсовъ искрового пространства,—напримѣръ, отъ шарика 1. Длина такой проволоки была въ различныхъ опытахъ отъ 20 до 50 метровъ. Другой полюсъ искрового пространства уводился въ землю. Что же касается отдаленной станціи, на которой находился когереръ, то и на ней къ одному полюсу послѣдняго присоединялся длинный проводъ, тогда какъ другой полюсъ опять таки отводился въ землю. Примѣненіе такихъ проводовъ очень сильно увеличивало разстояніе, на которое можно было телеграфировать. Благодаря этому приспособленію стала возможной передача морзовскаго шрифта на большое число километровъ. Оказалось, что, чѣмъ длиннѣе примѣняемыя проволоки, тѣмъ на большемъ разстояніи волны могутъ еще дѣйствовать. При подобныхъ опытахъ между берегомъ и кораблемъ достигаемое еще электрическими волнами разстояніе было приблизительно въ 300 разъ длиннѣе этихъ проволокъ, такъ что, если послѣднія были длиною въ 50 метровъ, то получалась возможность телеграфированія на 15 километровъ. При опытахъ же на сушѣ проходимое электрическими волнами разстояніе было едва только въ 70 разъ больше длины проволокъ. Причина, почему подобныя проволоки оказываются столь выгодными, заключается, конечно, въ томъ, что онѣ не позволяютъ волнамъ разсѣиваться, а скорѣе заставляютъ ихъ распространяться главнымъ образомъ въ направленіи, лежащемъ между обоими проводами. Эти послѣдніе дѣйствуютъ, слѣдовательно, совершенно также, какъ говорная и слуховая трубки. Такія проволоки называются проволокой-отправителемъ и проволокой-получателемъ.

Такимъ образомъ Маркони первый производилъ свои опыты въ различныхъ мѣстахъ и, пользуясь подобными проволоками, получалъ возможность передавать въ Спеціи (въ Италіи) довольно большія депеши на разстояніе въ 35 километровъ. Когда же онъ сталъ пользоваться еще болѣе усовершенствованными приборами, то ему удавалось телеграфировать безъ проводовъ даже черезъ каналъ между Франціей и Англіей.

Чтобы получить возможность сдѣлать доступными мѣста, лежащія на еще бо́льшихъ разстояніяхъ, надо было добиться, во первыхъ, усиленія на станціи отправленія энергіи испускаемыхъ волнъ, а во вторыхъ, значительнаго повышенія чувствительности когерера на станціи полученія.

Увеличеніе силы отправляемыхъ со станціи волнъ удается

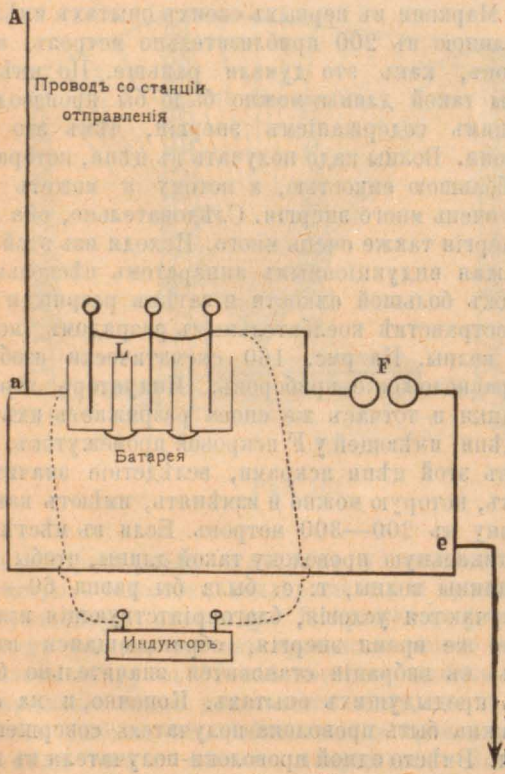


Рис. 160

съ помощью приспособленія, найденнаго страсбургскимъ профессоромъ Брауномъ, а примѣненнаго тѣмъ же Маркони. Сперва думали, что получаемыя при марконіевскомъ расположеніи приборовъ электрическія волны точно также коротки, какъ и въ томъ случаѣ, еслибы къ искровому промежутку

не было приключено проволокъ. Описанный выше вибраторъ даетъ волны приблизительно въ 30 сантиметровъ длиною, а потому полагали, что и Маркони пользовался въ своихъ телеграфированіяхъ такими короткими волнами. Но это было невѣрно. Благодаря присоединенію проволоки возбуждаемыя вибраторомъ волны дѣлаются гораздо бо́льшими: длина ихъ все время почти въ четыре раза больше длины проволоки. Слѣдовательно, и Маркони въ первыхъ своихъ опытахъ имѣлъ дѣло съ волнами длиною въ 200 приблизительно метровъ, а не въ 30 сантиметровъ, какъ это думали раньше. По мнѣнію же Брауна, волны такой длины можно было бы производить съ гораздо большимъ содержаніемъ энергіи, чѣмъ это дѣлалъ раньше Маркони. Волны надо получать въ цѣпи, которая обладаетъ очень большою емкостью, а потому и можетъ принимать въ себя очень много энергіи. Слѣдовательно, она можетъ и отдавать энергіи также очень много. Исходя изъ этой мысли, Браунъ, заряжая индукціоннымъ аппаратомъ нѣсколько лейденскихъ банокъ большой емкости и затѣмъ разряжая ихъ въ искровомъ пространствѣ коелбательнымъ разрядомъ, получалъ электрическія волны. На рис. 160 схематически изображено надлежащее расположеніе приборовъ. Индукторъ заряжаетъ лейденскія банки и тотчасъ же снова разряжаетъ ихъ въ металлической цѣпи, имѣющей у F искровой промежутокъ. Волны, создаваемыя въ этой цѣпи искрами, вслѣдствіе значительной емкости банокъ, которую можно и измѣнять, имѣютъ какъ разъ желаемую длину въ 200—300 метровъ. Если въ мѣстѣ *a* расположить вертикальную проволоку такой длины, чтобы она составляла $^1/_4$ длины волны, т. е. была бы равна 60—75 метрамъ, то получаются условія, благопріятствующія излученію волнъ, а въ то же время энергія, обращающаяся въ этой цѣпи банокъ, въ вибраціи становится значительно больше, чѣмъ была въ предыдущихъ опытахъ. Конечно, и на станціи полученія должна быть проволока-получатель совершенно такой же длины. Вмѣсто одной проволоки-получателя въ настоящее время употребляютъ очень большое число параллельно соединенныхъ проволокъ. Съ примѣненіемъ этого брауновскаго способа включенія, а также благодаря усовершенствованію аппарата на станціи полученія, въ послѣдніе годы Маркони дѣйствительно удалось производить телеграфированіе безъ проводовъ на все бо́льшія и бо́льшія разстоянія. Послѣ того какъ онъ получилъ возможность передавать депеши сперва черезъ

всю Данію и Англію, а потомъ и черезъ всю Францію, получилось 23 декабря 1902 года дѣйствительно поразительное извѣстіе, которое многіе считали невозможнымъ, что ему удалось передать телеграфныя депеши изъ Америки въ Англію черезъ Атлантическій океанъ. Рисунокъ 161 изображаетъ станцію Маркони въ Америкѣ. На углахъ квадрата, каждая

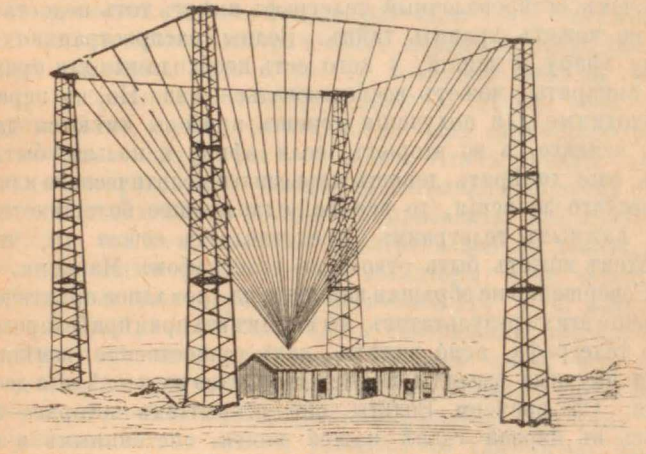


Рис. 161

сторона котораго равна 60 метрамъ, установлено четыре столба въ 70 метровъ высотою, поддерживающіе проволоки, образующія обращенную пирамиду. Напряженіе употребляющихся волнъ такъ велико, что изъ проволокъ можно въ любомъ мѣстѣ извлечь искру въ 30 сантиметровъ длиною. Такое высокое напряженіе волнъ достигается тѣмъ, что волны, создаваемыя цѣпью банокъ, перерабатываются трансформаторомъ громадной силы тока въ высокое напряженіе. Когда марконіевскій телеграфъ далъ этотъ послѣдній блестящій результатъ, онъ вступилъ въ настоящую борьбу съ прежнимъ кабельнымъ телеграфомъ. До сихъ поръ значеніе безпроволочнаго телеграфа можно было видѣть только въ томъ, что посредствомъ него становилось возможнымъ телеграфированіе между пунктами, между которыми нельзя сдѣлать проволочнаго соединенія, — напримѣръ, между кораблями или между кораблемъ и

берегомъ; въ настоящее же время значеніе это становится несравненно бо́льшимъ. Такъ какъ устройство марконіевскихъ аппаратовъ не требуетъ тѣхъ бо́льшихъ затратъ, какія были употреблены на трансатлантическій кабель, то трансатлантическія телеграммы могутъ стоить значительно дешевле, а потому безпроволочное телеграфированіе является въ настоящее время серьезнымъ конкурентомъ телеграфированія по кабелю. Впрочемъ, безпроволочный телеграфъ имѣетъ тотъ недостатокъ, что не можетъ хранить тайнъ. Волны распространяются по всему эфиру, и всякій, у кого есть необходимые для принятія ихъ аппараты, можетъ воспользоваться ими. Но, во первыхъ, необходимые для полученія депешъ приборы имѣются далеко не у всякаго, а во вторыхъ, если эфиру и нельзя, быть можетъ, еще довѣрять депешъ серьезнаго политическаго или коммерческаго значенія, то все же подавляющее большинство менѣе важныхъ телеграммъ представляетъ собою то, что съ успѣхомъ можетъ быть отвоевано телеграфомъ Маркони.

Совершенно не обращая вниманія на громадное практическое значеніе этихъ результатовъ, мы можемъ изъ примѣра безпроволочнаго телеграфа ясно видѣть, какъ существенно измѣнились наши научные взгляды на электричество за послѣднія десятилѣтія. Со времени Вольты, объ открытіяхъ котораго говорилось въ первой главѣ нашей книги, постояннымъ и несомнѣннымъ являлся тотъ фактъ, что электрическіе токи, какъ постоянные, такъ и перемѣнные, распространяются только въ металлическихъ проволокахъ; теперь же мы ясно видимъ, что такія электрическія движенія, какъ вибраціи, распространяются черезъ эфиръ и совсѣмъ безъ проволокъ.

Мы приходимъ благодаря этому къ болѣе или менѣе полному пониманію процессовъ, происходящихъ въ электрическихъ токахъ, къ пониманію, которое пробиваетъ себѣ въ послѣдніе годы новые пути и находится въ гармоніи съ нашими представленіями объ электростатическихъ явленіяхъ. Если гдѣ либо отъ той или другой причины возникаетъ нѣкоторое электрическое движеніе,—напр., отъ того, что опустятъ въ сѣрную кислоту и соединятъ между собой цинкъ и мѣдь или разрядятъ лейденскую банку,—то это движеніе распространяется черезъ воздухъ или, лучше сказать, черезъ находящійся въ воздухѣ эфиръ, и распространяется при этомъ волнообразно. Если же оно попадетъ на проводникъ, то распространяется вдоль него, но всегда непремѣнно по окру-

жающему его діэлектрику. При этомъ движеніе распространяется со скоростью свѣта. Итакъ, проводъ дѣйствительно обладаетъ свойствомъ служить проводникомъ электрическаго движенія, но только въ томъ смыслѣ, что онъ заставляетъ движеніе, происходящее на самомъ дѣлѣ въ діэлектрикѣ, оставаться на поверхности и не позволяетъ ему разсѣиваться. Въ самихъ же проводникахъ нѣтъ никакихъ быстрыхъ электрическихъ движеній. Итакъ, проводящія тѣла суть, собственно говоря, непроводники электрическихъ движеній, тогда какъ изоляторы проводятъ ихъ. А потому, слѣдовательно, на границѣ между проводникомъ и непроводникомъ, должно быть, существуетъ нѣчто, электричество, тогда какъ въ непроводникахъ его, вообще говоря, не имѣется вовсе. Итакъ, понятія «проводники» и «непроводники» сами по себѣ не даютъ въ этомъ смыслѣ ничего опредѣленнаго. Нужно еще прибавить, что̀ именно они проводятъ или не проводятъ,—электрическое ли движеніе, которое проходитъ только черезъ изоляторы, а не черезъ проводники, или же кажущихся носителей его, т. е. электричества, распространяющагося вдоль поверхности проводниковъ.

Содержаніе настоящей книги показало намъ, что многое въ области электрическихъ явленій въ настоящее время вполнѣ извѣстно. Зависимость электрическихъ явленій другъ отъ друга и управляющіе ими законы установлены такъ точно, что при непоколебимой вѣрѣ въ нихъ удалось практически совершенно подчинить себѣ электрическія силы и заставить колоссальныя количества электрической энергіи служить человѣчеству. Но многое—быть можетъ, даже бо̀льшая часть—намъ еще неизвѣстно. Быть можетъ, возможны еще новыя свойства электричества и новые способы его полученія, а если мы окинемъ въ настоящее время область электричества своимъ взглядомъ, то увидимъ, что у насъ нѣтъ еще никакого вѣроятнаго механическаго объясненія, которое охватывало бы собою всѣ явленія. Хотя поэтъ и говоритъ, что рычагами и винтами не вырвешь у природы ничего, чего она не можетъ выказать сама собою, однако мы можемъ надѣяться, что, быть можетъ, и не слишкомъ далеко то время, когда намъ удастся не только подчинить себѣ электричество, но и понимать его. И мы имѣемъ на это право, которое даютъ намъ громадные шаги впередъ и открытія, имѣвшія мѣсто въ послѣднія десятилѣтія.

Оглавленіе

СТР.

Глава первая. Возникновеніе и распознаваніе электрическихъ токовъ . . . . . 5— 27

Въ природѣ мы встрѣчаемъ лишь немного электрическихъ явленій, такъ какъ для нихъ у насъ нѣтъ спеціальнаго органа чувствъ.—Случайное наблюденіе Гальвани.—Вольта сводитъ опытъ Гальвани къ болѣе простымъ явленіямъ.—Случайное открытіе Эрштедтомъ отклоненія магнитной стрѣлки.—Гальваноскопъ.—Обозначенія и опредѣленія.—Гальваническіе элементы.—Дальнѣйшіе методы полученія электрическихъ токовъ.—Термоэлектрическіе токи.—Индукціонные токи.—Магнитно-электрическая индукція.—Разница между постоянными и перемѣнными токами.

Глава вторая. Законы постоянныхъ электрическихъ токовъ . . . . . 28— 53

Сила тока и измѣреніе ея.—Амперметръ.—Законъ Ома.—Электродвижущая сила гальваническихъ элементовъ и термоэлементовъ.—Послѣдовательное и параллельное включеніе элементовъ.—Термическій столбикъ Гюльхера.—Потеря напряженія.—Развѣтвленіе тока.—Вольтаметръ.—Приборы: балластныя сопротивленія, выключатели, коммутаторы.

Глава третья. Магнитныя дѣйствія электрическаго тока и ихъ примѣненія . . . . . 54— 98

Электромагнитизмъ.—Полученіе электромагнитовъ.—Магнитныя силовыя линіи тока.—Магнитная проводимость.—Картина электромагнитныхъ явленій.—Притяженія и отталкиванія.—Вращенія.—Продолжительныя вращенія.—Магнитныя дѣйствія двухъ токовъ другъ на друга (электродинамика).—Примѣненія: Молоточекъ Неефа.—Электрическіе звонки.—Телеграфъ.—Телефонъ и микрофонъ.

СТР.

Глава четвертая. Явленія электрическаго напряженія . . . . . 99—114

Разомкнутая батарея.—Электрическая искра.—Индукціонные аппараты.—Искровое пространство.—Колебательный разрядъ.—Явленія напряженія происходятъ въ изоляторахъ.—Электричество положительное и отрицательное.—Лейденская банка.—Электризація треніемъ.—Электрическая машина.—Явленіе притяженія и отталкиванія.—Электроскопъ съ золотыми листочками.—Вліяніе.—Машина Вимшурста.

Глава пятая. Обращеніе большихъ количествъ энергіи въ электрическіе токи и обратно . 115—167

Магнитная индукція.—Магнито-электрическія машины.—Кольцо Грамма.—Принципъ динамо.—Динамо постояннаго тока.—Машины съ послѣдовательнымъ и параллельнымъ возбужденіемъ.—Динамо перемѣннаго и трехфазнаго тока.—Работа машинъ.—Электродвигатели.—Распредѣленіе силы.—Передача энергіи.—Двигатели трехфазнаго тока.—Высокія напряженія.—Трансформаторы.—Электрическія желѣзныя дороги.

Глава шестая. Тепловыя и свѣтовыя дѣйствія тока и ихъ примѣненія . . . . . 168—196

Нагрѣваніе проводниковъ.—Обращеніе работы въ теплоту, законъ Джоуля.—Накаливаніе проволокъ.—Примѣненія: Электрическія лампочки накаливанія, включеніе ихъ.—Лампа Нернста.—Осміева лампа.—Электрическое топливо и нагрѣватели.—Электрическій свѣтъ отъ дуги.—Регулированіе.—Дуговыя лампы и ихъ дѣйствія.

Глава седьмая. Химическія дѣйствія электрическаго тока и ихъ примѣненія . . . . . 197—234

Электролизъ.—Вторичные процессы.—Законы Фарадея.—Вольтаметръ.—Теорія Клаузіуса-Арреніуса.—Прохожденіе тока въ электролитахъ.—Электролизъ въ гальваническихъ элементахъ.—Поляризація.—Вторичные элементы.—Примѣненія: Аккумуляторы и ихъ употребленіе.—Гальванопластика.—Электрохимія.—Добываніе чистой мѣди.

Глава восьмая. Прохожденіе электричества черезъ газы. Лучи Рентгена и Беккереля . . . . 235—247

Свѣтовыя явленія въ разрѣженныхъ газахъ.—Гейслеровы трубки.—Положительный свѣтъ.—Темное пространство.—Круксовы трубки.—Катодные лучи.—Беккерелевы лучи.

СТР.

Глава девятая. Электрическія колебанія . 248—264

Колебанія при разрядѣ черезъ искру.—Вибраторъ Герца.—Очень быстрыя колебанія.—Скорость распространенія электрическихъ движеній.—Когереръ.—Электрическо-оптическіе опыты.—Электрическіе лучи.—Телеграфія безъ проводовъ.—Волны большой энергіи.—Проводники и непроводники.—Заключеніе.

Изданія О. Н. Поповой

ЕСТЕСТВОЗНАНІЕ

Атласъ естественно-историческій. Зоологія, анатомія человѣка, ботаника и минералогія. Наглядное пособіе для семьи и школы. Составили **П. Ю. Шмидтъ**, ассистентъ при каѳедрѣ зоологіи Высш. Женск. Курс. въ Спб., и **И. В. Палибинъ**, причисленный къ Имп. Спб. Ботанич. саду. 224 таблицы, около 1.200 рис., около 300 стр. объяснительнаго текста.—8 р., въ роск. переплетѣ 10 р.

Учен. Комит. М. Н. П. **одобренъ** для фунд. и учен., старш. и средн. возр., библ. всѣхъ средн. учебн. завед., а также для учит. институт. и семинарій и гор. школъ. **Одобренъ** для библ. учебн. зав., подвѣд. Мин. Земл. и Госуд. Имущ. **Рекомендованъ** для фундам. библ. военно-учебн. зав.

Грантъ-Алленъ. *Въ тайникахъ природы*. Борьба, защита, работа и сонъ въ мірѣ животныхъ и растеній. Пер. съ англ. М. П. Волошиновой. Съ 257 рис.—2 р.

Содержаніе: Коровы, которыхъ доятъ муравьи.—Растеніе, которое растапливаетъ ледъ. — Грозный хищникъ. — Трагедія въ лѣсу. — Брачный союзъ клевера. — Ужасная уховертка. — Первые бумажные фабриканты. — Постоянные города. — Подъ ледянымъ покровомъ.—Британскіе кровопійцы.—Умное растеньице.—Нашествіе иноземцевъ на Англію.—Подземные ходы и подъемныя двери.—Могильщики и мусорщики.—Ловкіе обманщики. — Сонъ растеній.—Предохранительное переодѣваніе животныхъ.—Примѣрные воспитатели.—Ежи животнаго и растительнаго царства.—Насѣкомыя-завоеватели.—Броненосныя животныя.

Уч. Ком. Мин. Нар. Просв. **допущена** въ ученич. библ. средн. учебн. завед. **Одобрена** для библіотекъ учебн. зав. Мин. Земл. и Госуд. Имущ.

Давидъ, Л. *Руководство фотографіи*. Пер. съ 20-го нѣмецкаго изд. Ѳ. Ф. Александрова. Со 101 рис.—1 р. 20 к.

Дарвинъ, Чарльзъ. *Собраніе сочиненій*. Въ четырехъ томахъ.—9 руб.

Т. I. Автобіографія Ч. Дарвина. Пер. проф. К. Тимирязева.—Путешествіе вокругъ свѣта на кораблѣ „Бигль“. Пер. подъ ред. проф. А. Бекетова.—Теорія происхожденія видовъ путемъ естественнаго отбора. Пер. проф К. Тимирязева. Съ портр. Дарвина и 4 таблицами рис. Изд. 2-е.

Т. II. Происхожденіе человѣка и половой отборъ. Пер. проф. Сѣченова.—О выраженіи ощущеній у человѣка и животныхъ. Пер. подъ ред. акад. А. О. Ковалевскаго. Съ портретомъ Дарвина и 28 табл. рисунковъ. Изд. 2-е.

Т. III. Прирученныя животныя и воздѣланныя растенія. Пер. В. Ковалевскаго, переработанный проф. М. А. Мензбиромъ и проф. К. А. Тимирязевымъ. Съ 10 табл. рис.

Т. IV. Приспособленія орхидныхъ къ оплодотворенію насѣкомыми. Пер. И. Петровскаго подъ ред. проф. К. А. Тимирязева.—О движеніяхъ и повадкахъ лазящихъ растеній. Пер. И. Петровскаго подъ ред. проф. К. А. Тимирязева.—Насѣкомоядныя растенія. Пер. подъ ред. проф. К. А. Тимирязева.—Образованіе растительнаго слоя дѣятельностью дождевыхъ червей и наблюденіе надъ образомъ жизни послѣднихъ. Пер. проф. М. А. Мензбира. Съ 26 табл. рис.

Жане, П. *Неврозы и фиксированныя идеи.* Пер. съ франц. д-ра М. П. Литвинова. Со мног. рис.—3 р.

„Г. Литвиновъ передалъ капитальное изслѣдованіе профессора психіатріи и директора клиники въ Сальпетріерѣ Жане на русскій языкъ и внесъ, такимъ образомъ, цѣнный вкладъ въ нашу медицинскую переводную литературу. Въ „нашъ нервный вѣкъ“ книга о неврозахъ, несмотря на свой спеціальный характеръ, заинтересуетъ многихъ и прочтется, конечно, не безъ пользы нашими врачами по нервнымъ болѣзнямъ, тѣмъ болѣе, что переводъ сдѣланъ научно и литературно“. (Лит. Прил. „Нивы“ 1903, № 2).

Попова, О. Н. *Естественно-историческая христоматія.* Пособіе для изученія родного міра. Приложеніе къ „Родному Міру“. Годъ первый. Изд. 2-е, иллюстрированное.—1 р.

Учен. Ком. Мин. Нар. Просв. **допущена** въ ученич. библіотеки средн. и низш. учебн. завед. Мин-ства, въ томъ числѣ учит. институт. и семинарій, и въ безплатныя народн. читальни и библіотеки.

Попова, О. Н. *Родной міръ.* Книга для чтенія въ сельской школѣ. Годъ первый.—25 к.

Сервисъ, Г. П. *Астрономія съ биноклемъ.* Популярное введеніе къ изученію звѣзднаго неба при помощи простѣйшаго изъ оптическихъ инструментовъ. Съ картами и наставленіями для нахожденія созвѣздій и главнѣйшихъ звѣздъ, видимыхъ невооруженнымъ глазомъ. Пер. съ англ. М. Л. Кисловскаго.—1 р.

Тэйлоръ, Эдуардъ Б. *Первобытная культура.* Изслѣдованіе развитія миѳологіи, философіи, религіи, языка, искусства и обычаевъ. 2-е изданіе исправленное и допол енное по третьему англійскому изданію 1891 г., подъ ред. Д. А. Коропчевскаго, въ двухъ томахъ. За оба тома 4 р.

„Классическій трудъ Тэйлора—одна изъ лучшихъ книгъ, ставящихъ естественныя науки на мѣсто привидѣній. Что въ ней особенно цѣнно—это методъ... Давно оцѣненная русской читающей публикой и оставившая неизгладимый слѣдъ въ нашей научной литературѣ, она будетъ, конечно, имѣть новый успѣхъ, соотвѣтствующій ея глубокому значенію“. (Русск. Богат. № 12, 1896 г.).

Ферстеръ, П. *Вивисекція* съ естественно-научн., медиц. и нравств. точекъ зрѣнія. Пер. съ нѣм.—50 к.

Чемберсъ. *Солнечная система.* Пер. съ англ. В. Щиглевой, ред. Н. Березина. Съ 73 рис.—40 к.

Содержаніе: Предварительныя свѣдѣнія.—Солнце.—Меркурій.—Венера.—Земля.—Луна.—Марсъ.—Малыя планеты.—Юпитеръ.—Сатурнъ.—Уранъ.—Нептунъ.—Кометы.

Юнгъ, Ч. А. *Уроки астрономіи*, со включеніемъ въ текстѣ описанія созвѣздій (Уранографія). Краткій вступительный курсъ безъ математики. Перев. съ послѣдняго американскаго изданія П. Я. Морозова. Рис. 113, 4 карты.—1 р. 50 к.

Учен. Ком. Мин. Н. Пр. **допущена** въ учен., ст. возр., библ. ср. уч. зав.

ГЕОГРАФІЯ и ПУТЕШЕСТВІЯ

Гренгагенъ, К. Б. *Поѣздка на Иматру. Выборъ, Вильманстрандъ и Саймеискій каналъ.* Съ приложеніемъ краткаго словаря русско-шведско-финскихъ словъ.—40 к.

Гренгагенъ, К. Б. *Путеводитель по Финляндіи.* Водолечебные центры, дачныя и живописныя мѣстности Карелiи, Саволакса, Нюландіи, Коренной Финляндіи, Сатакунты, Тавастланда и Эстерботніи. Съ прилож. 27 картъ и краткаго словаря русско-шведско-финскихъ словъ.—2 р. 50 к.

Путеводитель Гренгагена для неопытнаго туриста—положительный кладъ, въ немъ онъ найдетъ разрѣшенія мельчайшимъ недоразумѣніямъ. („Русск. Мысль, № 1, 1899 г.)

Іогансенъ, Яльмаръ. *Самъ-другъ подъ 86° 14′ сѣв. шир.* Записки участника экспедиціи Ф. Нансена къ сѣверному полюсу на кораблѣ „Фрамъ“. Со многими рисунками, воспроизведенными по фотографіямъ, снятымъ на мѣстѣ авторомъ. Пер. съ подлинника А. и П. Ганзенъ.—1 р. 25 к.

Учен. Ком. М. Н. Пр. **одобрена** для учен., средн. возр., библ. муж. и женск. средн. учебн. завед. и для библ. учит. инстит., семинарій и городскихъ училищъ и **допущена** въ безплатныя читальни.

Нансенъ, Фритіофъ. *Во мракѣ ночи и во льдахъ.* Путешествіе норвежской экспедиціи на кораблѣ „Фрамъ“ къ сѣверному полюсу. Полный переводъ подъ ред. Н. Березина. Въ 2-хъ томахъ. Съ 183 рисунками и 4 картами. 2-е изд.—4 р.

Учен. Ком. М. Нар. Пр. **рекомендована** для фундамент. и ученич., старш. возраста, библ. мужск. и женск. средн. учебн. заведеній, для библ. учит. институтовъ и семинарій и для безпл. народныхъ библ. и читаленъ.

Реклю, Э. *Земля.* Описаніе жизни земного шара. Переводъ безъ пропусковъ съ послѣдняго французскаго изданія. Цѣна за всѣ шесть вып. 6 р. 70 к.

Содержаніе: Вып. I. Земля, какъ планета. Горы и равнины. 2-е изд.—90 к.—Вып. II. Круговоротъ воды на земномъ шарѣ. 3-е изд.—1 р. 30 к.—Вып. III. Подземныя силы. (Вулканы землетрясенія, поднятія и опусканія почвы). 2-е изд.—1 р. 10 к.—Вып. IV. Океанъ. 2-е изд.—1 р. 10 к.—Вып. V. Атмосфера.—1 р.—Вып. VI. Жизнь на земномъ шарѣ.—1 р. 30 к. Каждый выпускъ снабженъ многочислен. рисунками и геогр. картами.

„Съ появленіемъ въ русскомъ переводѣ извѣстнаго труда Э. Реклю „Земля“, наша географическая литература обогатилась капитальнымъ произведеніемъ... Изданіе снабжено многочисленными рисунками и картами, очень хорошо исполненными“. („Русск. Вѣд.“, № 83, 25 марта 1895 г.).

Реклю, Э. *Земля и люди.* Всемірная географія.

Выпуски I—VI Ученымъ Ком. Нар. Пр. **одобрены** для фунд. библ. ср. уч. зав. и для учен., ст. возр., библ. гимназій и реальныхъ учил., **допущены** въ учит. библіотеки низшихъ учил. и въ безпл. народн. читальни и библ.

Вып. I. *Швеція и Норвегія.* Полн. переводъ съ французск. П. Краснова. Съ 77 рис., съ прил. очерка государственнаго устройства и библіогр. указателемъ.—1 р.

Вып. II. *Бельгія и Голландія.* Полн. переводъ съ франц. Пл. Краснова. Съ приложеніемъ очерка госуд. устройства обоихъ государствъ и статистическихъ свѣдѣній, относящихся до Бельгіи и Голландіи, сост. Д. Протопоповымъ, и библіографическимъ указателемъ. 67 рис., 9 чертежей.—1 р.

Вып. III. *Соединенные Штаты.* Часть I. Пер. съ франц. подъ ред. Н. Березина. 70 рис. и 12 схем. картъ въ текстѣ.—1 р. 50 к.

Вып. IV. *Соединенные Штаты.* Ч. II. Переводъ съ франц. подъ ред. Н. Березина. Съ 41 рис. и 25 чертежами въ текстѣ. Приложенія: Очеркъ государственнаго устройства, составленный Д. Протопоповымъ; библіограф. указатель книгъ и статей на русскомъ языкѣ о Соединенныхъ Штатахъ и географическая карта.—2 р.

Вып. V. *Британскіе острова.* Полный переводъ съ франц. подъ ред. Д. А. Коропчевскаго Съ 91 рисункомъ. Приложенія: „Очеркъ госуд. устройства“, статья В. Водовозова. „Значеніе физико-географическихъ условій въ соціальномъ развитіи Англіи“, статья Д. Коропчевскаго. Библіографическій указатель. Списокъ географическихъ именъ и картъ.—2 р.

Вып. VI. *Франція.* Перев. Д. А. Коропчевскаго. Съ 108 рис. Приложенія: „Очеркъ государственнаго строя современной Франціи“ М. А. Лихарева. Библіографическій указатель. Указатель географическихъ именъ и карта Франціи.—3 р.

Финляндія. Подъ редакціей **Д. Протопопова**. При участіи И. Андреева (псевд.), В. Валлина, Г. В., А. Гранфельда, О. Грундстрема, Г. К—на, Я. Клерикуса (псевд.), К. Лейно, Neuter (псевд.), Д. Протопопова, В. Скалона, І. Тикканена, г-жи Т. Хультинъ, Т. Форселли, г-жи М. Фридбергъ и Э. Эркко. 51 иллюстрація—3 р. 50 к.

„Новое изданіе О. Н. Поповой представляетъ, несомнѣнно, цѣнный вкладъ въ небогатую литературу о Финляндіи и можетъ быть рекомендовано всѣмъ интересующимся краемъ, о которомъ у насъ знаютъ такъ мало. Книга издана очень изящно, снабжена массой рисунковъ и гравюръ и по цѣнѣ доступна“. („Міръ Божій“, № 10, 1896 г.).

8 ИЮЛ 19

2007334120